

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/390143794>

Sistemas Complejos. Sistemas en los Limites del Caos

Book · March 2025

CITATIONS

5

READS

388

1 author:



[Luis Arturo Rivas-Tovar](#)

National Polytechnic Institute

220 PUBLICATIONS 1,238 CITATIONS

SEE PROFILE



Citar este libro así.

Rivas- Tovar L. A. (2024). Sistemas Complejos. Sistemas en el Límite del Caos. Instituto Politécnico Nacional /Tirant.

<https://iadministrativa.escasto.ipn.mx/index.php/IA/libraryFiles/downloadPublic/24>

<https://doi.org/10.35426/IASC>

Luis Arturo Rivas-Tovar

SISTEMAS COMPLEJOS

Sistemas en el límite del caos



plural



Luis Arturo Rivas-Tovar

Es Doctor en Ciencias Administrativas por el Instituto Politécnico de México. Dr. (c) en Estudios Europeos en el Instituto Universitario Ortega y Gasset de España. Postdoctorado en Organización de dos años en la Universidad Politécnica de Madrid (Grupo Ingeniería de la Organización). Trabajo 13 años en Petróleos Mexicanos donde fue Gerente Corporativo de Organización. Ha sido Consultor internacional de diversos proyectos dentro de los que destaca su trabajo en el Instituto Tecnológico de Massachusetts seleccionado para colaborar en el equipo del Premio Nobel de Química 1995 Mario Molina. Ha formado a un total de 32 doctores, 15 de los cuales son miembros del Sistema Nacional de Investigadores SNI y a 71 Maestros en Ciencias.

En el mundo académico ha sido: Director del Centro de investigación en Ciencias Administrativas de la ESCA-IPN. Director del European Institute of Management. Coordinador de Proyectos Estratégicos en el Centro Mario Molina de Energía y Medio Ambiente que presidió el Premio Nobel de Química (1995) con el cual trabajo durante 10 años. Es editor en jefe de la Revista Investigación Administrativa indexada en: CONACYT (Q1 Competencia internacional).

Actualmente es Catedrático del Instituto Politécnico Nacional. Ha recibido diversas distinciones dentro de la que destaca Investigador Nacional nivel III, el máximo del Sistema Nacional de Investigadores CONACYT (México). Es el investigador más citado del mundo en Google Scholar en Teoría de la Organización y Formación de Investigadores, el segundo investigador en Dirección Estratégica y el tercero en **Complexity Management**.

En Research Gate que es el repositorio mas importante del mundo, su obra científica ha sido leida por casi un millón de lectores de manera gratuita. En esta plataforma de conocimiento abierto, siete veces ha recibido la distinción por ser el científico mas leido de Mexico en todos los campos del saber.

Luis Arturo Rivas-Tovar
Autor

SISTEMAS COMPLEJOS SISTEMAS EN EL LÍMITE DEL CAOS



tirant humanidades
Ciudad de México, 2024

Copyright * 2024

Todos los derechos reservados. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética, o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación sin permiso escrito de los autores y del editor.

En caso de erratas y actualizaciones, la Editorial Tirant Humanidades publicará la pertinente corrección en la página web www.tirant.com.

© Luis Arturo Rivas-Tovar

© TIRANT LO BLANCH
EDITA: TIRANT HUMANIDADES MÉXICO
Av. Tamaulipas 150, Oficina 502
Hipódromo, Cuauhtémoc
CP 06100, Ciudad de México
Telf: +52 1 55 65502317
infomex@tirant.com
www.tirant.com/mex/
www.tirant.es
ISBN: 978-84-1183-793-4

Si tiene alguna queja o sugerencia, envíenos un mail a: atencioncliente@tirant.com. En caso de no ser atendida su sugerencia, por favor, lea en www.tirant.net/index.php/empresa/politicas-de-empresa nuestro procedimiento de quejas.

Responsabilidad Social Corporativa: http://www.tirant.net/Docs/RSC_Tirant.pdf

Impreso en enero de 2025 en los talleres de Litográfica Ingramex, S.A. de C.V., Centeno 162-1, Col. Granjas Esmeralda, C.P. 09810, Ciudad de México.

COMITÉ CIENTÍFICO DE LA EDITORIAL TIRANT HUMANIDADES

MANUEL ASENSI PÉREZ

*Catedrático de Teoría de la Literatura y de la Literatura Comparada
Universitat de València*

RAMÓN COTARELO

*Catedrático de Ciencia Política y de la Administración de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociología
de la Universidad Nacional de Educación a Distancia*

M.^a TERESA ECHENIQUE ELIZONDO

*Catedrática de Lengua Española
Universitat de València*

JUAN MANUEL FERNÁNDEZ SORIA

*Catedrático de Teoría e Historia de la Educación
Universitat de València*

PABLO OÑATE RUBALCABA

*Catedrático de Ciencia Política y de la Administración
Universitat de València*

JOAN ROMERO

*Catedrático de Geografía Humana
Universitat de València*

JUAN JOSÉ TAMAYO

*Director de la Cátedra de Teología y Ciencias de las Religiones
Universidad Carlos III de Madrid*

Procedimiento de selección de originales, ver página web:

www.tirant.net/index.php/editorial/procedimiento-de-seleccion-de-originales

Índice

Prefacio	11
Introducción	13
¿Qué es un Sistema Complejo?.....	13
Tres Conceptos Centrales: Emergencia, Formación de Patrones y No Linealidad.....	15
Modelo LART de Evolución de Sistemas.....	23
Mapa LART de Evolución de Conceptos de Sistemas Complejos	25
 <i>Capítulo 1</i>	
El Primer Tributario: La Teoría de los Sistemas	29
La Teoría de Sistemas: Conceptos Básicos.....	29
Teoría de Sistemas: “Nuevos” Conceptos.....	32
Medición de la Complejidad.....	39
La Teoría de Sistemas (Ludwing Von Bertalanffy).....	42
La Tipología de Sistemas (Kenneth Boulding).....	44
Los Modelos Estocásticos de Contagio (Anatol Rapoport).....	46
La Teoría de Gaia (James Lovelock)	48
La Teoría de los Sistemas Vivos (James Grier Miller).....	49
Modelo de Sistemas Viables (Anthony Stafford Beer).....	51
Metodología de Sistemas Suaves (Peter Chekland).....	52
El Sistema Social de (Niklas Luhmann).....	55
Modelos de Clasificación de Sistemas.....	59
 <i>Capítulo 2</i>	
Segundo Tributario: Sistemas Dinámicos	63
La Geometría Fractal (Benoit Mandelbrot).....	64
La Teoría del Caos.....	72
Las Rutas del Caos (Aleksandr Lyapunov).....	74
El Efecto Mariposa (Edward Lorenz).....	76
Atractores Extraños en Diferentes Sistemas.....	81
El Modelo de Sistema de Reparación Metabólica (Robert Rosen).....	82
La Teoría de las Catástrofes (Rene Thorm).....	84
La Dinámica de Sistemas (John Sterman).....	86

Dinámica de Sistemas y Diagramas causales de (Jay Forrester).....	88
Diseño de un Diagrama de Bucles Causales	90

Capítulo 3.

Tercer Tributario: La Cibernética, la Cibernética de Segunda Generación, la Socio Cibernética y Vida Artificial	101
La Teoría Cibernética (Norbert Weiner).....	101
El Homestato (William Ross Ashby).....	103
Primera Computadora (Von Neumann).....	104
Cibernética de Segunda Generación (Heinz von Forester)	105
Lógica Difusa y el Pensamiento Borroso.....	108
La Realidad de Tres Pisos (George Klir)	121
La Vida Artificial (Christopher Langton).....	122
¿Qué Ventajas Inconvenientes de la Vida Artificial?.....	131
Robótica Orígenes y Evolución.....	132
Nanotecnología	138
Diagramas de Feynman (Richard Feynman).....	140
Biónica	143

Capítulo 4

Cuarto Tributario: Ciencias de la Complejidad	147
Astrofísica: Diseño de Sistemas de Movimiento Social (Erich Jantsch)	147
Química: Las Estructuras Disipativas (Ylya Prigogine).....	149
Biología: Autopoiesis y Adaptación (Francisco Maturana y Francisco Javier Varela).....	153
Biología: Complejidad Biológica (Stuart Kaufman).....	155
Física: Criticabilidad Auto organizada (Per Bak, Chao Tang y Kurt Wiesenfeld)....	164
Biología : Comportamiento Caótico de Poblaciones (Robert May).....	166
Ciencias Políticas: Cooperación y Teoría de Juegos (Robert Axelrod).....	168
Economía: La Cooperación Evolutiva (Samuel Bowles).....	170
Física: El Modelo de Escala (Gooffey West).....	172
Filosofía: Las Ciencias de la Complejidad (Edgar Morin).....	174
Sociología: La Sociedad Global de la Información (Manuel Castell)	180
Sociología: Modelo Sistémico del Mundo (Immanuel Wallerstein).....	181

Capítulo 5.

Quinto Tributario: La Teoría de Redes	185
Teoría de Grafos (Erdős y Rényi).....	185

Conceptos Básicos sobre Redes.....	187
Modelo LART de Estructura y Dinámica de una Red Compleja.....	192
Variables de la Estructura de las Redes Complejas	193
Grado de Correlación de Redes.....	210
Navegación en la Red.....	213
Variables de la Dinámica de Redes.....	215
Creadores de Conceptos Fundamentales en la Teoría de Redes Complejas	229
El Efecto de Mundo Pequeño (Stanley Milgram).....	229
La Fuerza de los Lazos Débiles (Mark Granovetter)	232
Sistemas Dinámicos en Redes Sociales (Steve Strogatz).....	239
Dinámica en Redes Sociales (Duncan Watts).....	240
Dinámica de Redes Sociales Animales (Pinter-Wollman, y otros).....	242
Las Redes Oscuras (Sean Everton).....	243
 <i>Capítulo 6.</i>	
Sexto Tributario. La Simulación en Sistemas Complejos.....	249
Autómata Celular	266
Autómatas Celulares y Algebra Computacional (Stephen Wólffram).....	272
El juego de la Vida (John Conway).....	273
Algoritmos Genéticos (John Holland)	273
Modelos Multi Agente	280
La Web Semántica: Tim Berners Lee	283
Sistemas Complejos Aplicados a las Ciencias Sociales.....	287
Minería de Datos (Data Mining).....	294
El Big Data (Análisis Masivo de Datos)	300
 <i>Capítulo 7.</i>	
Séptimo Tributario. Computación Cuántica, e Inteligencia Artificial.....	319
La Inteligencia contra la Ignorancia: Alan Turing	319
Complejidad Computacional Cuántica: Charles Bennett & Peter Shor	323
Aplicaciones de la IA en la Administración Pública	369
 <i>Capítulo 8.</i>	
Centros de Estudios Complejos en el Mundo.....	373
Centros Internacionales de Sistemas Complejos	374
Centros de Complejidad en México.....	383

5 Tipos de Investigaciones Realizadas.....	396
<i>Capítulo 9.</i>	
Modelación y Epistemología en Sistemas Complejos.....	399
Parte 1) La influencia de las conferencias de Macy en el estudio de sistemas complejos.....	399
Empirismo versus Racionalismo y Holismo versus complejidad.....	404
Tipos de Modelación científica.....	413
Tradiciones Epistemológicas en Sistemas Complejos.....	418
Murray Gell-Mann y el Empirismo Cuántico.....	418
El Pensamiento Complejo de Wimsatt y Morin.....	420
El Problema Metodológico de Comprensión de los Sistemas Complejos.....	430
Marco Metodológico para la Simulación de Sistemas Complejos.....	432
Referencias.....	437

Prefacio

Este es un libro que los expertos en complejidad (tanto filósofos como tecnólogos) encontrarán elemental. No está dirigido a los conversos sino a los herejes. Su pretensión es aportar una visión panorámica al estudio, evolución y comprensión de los conceptos fundamentales de los sistemas complejos en los últimos 120 años. En su totalidad y (paradójicamente) en su simplicidad al explicar las perspectivas teóricas, las técnicas, los modelos, los pensadores, es en su enfoque panorámico donde reside su valor. Los valientes que decidan aventurarse encontrarán un **croquis** conceptual que les permitirá profundizar en la ciencia de la complejidad y el software que permite identificar patrones de comportamiento colectivo.

Decidí escribir este libro porque después de años de trabajar el tema estaba lleno de dudas y utilizaba solo las herramientas del pensamiento complejo- como muchos de los especialistas de ciencias sociales - y desconocía por completo las técnicas que permiten aportar evidencia empírica, sólida y replicable. Este libro me ha servido para despejar mis propias dudas, aprender por el camino y ver otras lagunas que aún tengo. Por ello ruego a los sabios del templo ver la utilidad, el panorama, el mapa conceptual, la guía práctica que pretende atisbar en la *Evolución la Teoría de la Complejidad*.

El libro está organizado en nueve capítulos. En el primero describe los fundamentos teóricos de donde surgen los sistemas complejos. En esta parte introductoria se presenta tanto el modelo LART de la dinámica de sistemas, así como el Modelo de Conceptos sobre la Ciencia de la Complejidad que guía y le da orden al libro.

En el segundo capítulo se describe La Evolución de la Teoría de los Sistemas Dinámicos y la Teoría del Caos.

En el tercer capítulo se describe las aportaciones de la Cibernética, la Cibernética de Segundo Orden, la Socio Cibernética, la Vida Artificial, la Lógica Difusa y la E – Ciencia, la Robótica y La Nanotecnología.

En el cuarto capítulo se describen los conceptos recibidos por la Ciencia de la Complejidad desde distintas disciplinas.

En el quinto capítulo se aborda la *Teoría de Redes* en el mundo real, analizando las redes sociales, las de información, las redes biológicas, las tecnológicas y de sistemas sociales. Este es capítulo donde hay más aportes de la investigación rea-

lizada por mis becarios tesisistas acompañado de la Dra. Magali Cárdenas Tapia a la que expreso mi admiración y agradecimiento.

En el capítulo seis, se describe las técnicas de simulación que se han ido desarrollando en los últimos 50 años entre ellas cabe mencionar: la Modelación Basada en Agentes, los Autómatas Celulares, los Algoritmos Genéticos, la Modelación Multi Agente, la Minería de Datos, el Modelo Computacional.

En el capítulo siete se describen los avances de la Inteligencia Artificial y las Redes Neuronales.

En el capítulo ocho se describe la investigación que se realiza en los centros líderes en el mundo tales como el Instituto Santa Fe, La universidad de Michigan, el centro de estudios complejos de Paris y New England Complex Systems Institute (Boston). Así mismo, se describe la investigación que se hace en la UNAM con su centro C3, y en el IPN con su CICS virtual y su Red de Investigadores en Sistemas Complejos que ha sido conseguido después de una ardua lucha, así mismo, se incluye la investigación de la Universidad de la Ciudad de México la única universidad mexicana con una Maestría en Sistemas Complejos en México.

Finalmente, en el capítulo nueve se discute las dos grandes perspectivas epistemológicas (Empirismo y Racionalismo) en sistemas complejos y propone el Modelo Epistemológico LART de Sistemas Complejos.

Introducción

¿QUÉ ES UN SISTEMA COMPLEJO?

Antes de iniciar con la explicación que *es un sistema complejo* y cómo se hace la modelación de un sistema complejo debemos darnos a la difícil tarea de explicar este esquivo concepto.

Una primera dificultad es que en los distintos grupos de complejidad que he conocido tanto en Estados Unidos, Francia, Argentina, Colombia y México donde he estado y participado para elaborar este libro, he podido constatar algo que resulta desolador. Prácticamente cada especialista tiene su propia definición de lo que significa *un sistema complejo* y de lo que es *la complejidad*, por ello el tratar de explicar estos conceptos, y más difícil aún, el marco metodológico de análisis, no resulta nada sencillo.

Aunque es muy poco original iniciaré con las definiciones. Citaré la definición de los que *es un sistema complejo* para un filósofo, investigador de ciencias sociales y un par de científicos naturales, un físico y una bióloga.

Desde mediados de siglo pasado (1948) Warren Weaver postuló que existían tanto en la naturaleza como en las ciencias sociales fenómenos que no podía ser medidos con un criterio cuantitativo único sino con una conjunto de relaciones que se conjuntaban de manera no aleatoria ni trivial y que los modelos mecánicos o estadístico no eran capaces de predecirlo porque no obedecían a causas y efectos sino que requerían otros modelo sistémicos que no fue capaz de precisar. (Warren, 1948).

Por su parte Herbert Simon uno de los pocos expertos en Administración que recibió el premio Nobel de Economía postuló en su libro *Models of Discovery: and Other Topics in the Methods of Science* que había aunque muchos sistemas podían ser comprendidos mediante la descomposición de sus subsistemas había sistemas en los que esto era imposible, ya que actúan de manera conjunta y dependen uno de otro del comportamiento colectivo. (Simon, 1977)

Por su parte el popular y celebre filósofo francés Eduardo Morin cuya obra ha tenido un gran impacto en la difusión del concepto de sistema complejo sistema complejo sostiene que ...

...“Es complejo aquello que no puede definirse en una palabra maestra, aquello que no puede sustraerse a una ley, aquello que no puede reducirse a una idea simple. Lo complejo no puede resumirse en el término complejidad, sustraerse a una ley de complejidad, reducirse a la idea de complejidad..” (Morin, 1994).

Como es un filósofo, Morin juega con las palabras y más que dar una definición da una anti-definición por lo cual nos deja como antes, sin saber qué se debe entender por un sistema complejo.

Según el sociólogo Luhmann un sistema complejo es:

...“Desde el punto de vista operacional, emerge cuando una operación de cierto tipo y es capaz conectarse con otras operaciones del mismo tipo para producir más operaciones del mismo tipo...” (Luhmann, Social Systems, 1994).

En esta definición, a mi modo de ver, no muy clara, debemos destacar las palabras: emerge y e capaz de conectarse. En efecto, los subsistemas complejos para ser considerados como tales, deben de estar conectados y generar nuevas propiedades como resultado de su interconexión.

David Axelrod (1997) precursor de la teoría de Juegos por su parte **no** definió con rotundidad un sistema complejo sin embargo, solía afirmar que los sistemas complejos es una tercera vía para hacer ciencia, que complementa a los dos grandes enfoques epistemológicos de la ciencia: la Inducción propia de las ciencias naturales y la deducción usada extensivamente en las ciencias sociales.

(Rodríguez- Zoya & Roggero, 2014) de acuerdo con Axelrod, consideran qué los sistemas complejos constituyen un nuevo campo teórico metodológico que inicia en la década de los ochenta y se consolida entre las décadas de 1990 a 2010.

En una definición más clara un sistema complejo la proporciona dos científicos mexicanos:

“Está compuesto por partes interconectadas cuyas interacciones implican comportamiento que generan información adicional, casi siempre oculta al observador. Como resultado de las interacciones de sus elementos surgen propiedades nuevas (denominadas emergentes) que no pueden explicarse a partir de los elementos particulares. Ese es el tipo de sistemas que estudian los sistemas complejo” (Álvarez-Buylla & Frank Hoefflich, 2013).

De esta definición destaco: *partes interconectadas, información adicional, propiedades nuevas, ocultas al observador, llamadas emergentes, que no pueden ser explicadas a partir de elementos.*

Por lo anterior para el autor de este libro un sistema complejo es:

Definición de Sistema Complejo

Es un sistema que tiene agentes que se relacionan entre sí y *forma patrones* que requieren enfoques epistémicos y/o métodos de análisis para visualizar *comportamientos emergentes no lineales* a partir de las interacciones que no son posibles de generar individualmente.

Nótese que en mi definición destaco con itálicas los tres conceptos que considero son imprescindibles para que un sistema sea considerado como complejo: Emergencia, formación de patrones y no linealidad.

Existen al menos 20 conceptos que se usan en los libros y las obras que tratan de explicar un sistema complejo¹ sobre la complejidad, sin embargo, son 10 conceptos básicos para comprender un sistema complejo: La no linealidad, el caos, atractor extraño, la auto organización, la co evolución, la emergencia, las redes, jerarquía, la autopoiesis y los sistemas complejos adaptativos (Rivas L. A., 2010). De estos 10 conceptos y perdón por reiterarlo incluso en la misma página, pero es una de las cosas que le lector recuerde de mi libro: Hay 3 pruebas que debe pasar un sistema complejo: *Ser no lineal, ser emergente y formar patrones colectivos.*

TRES CONCEPTOS CENTRALES: EMERGENCIA, FORMACIÓN DE PATRONES Y NO LINEALIDAD

Una de las consecuencias negativas de la moda que ha supuesto el uso de la palabra *complejidad* es que se utiliza para todo incluso para lo que no es complejo. La prueba de que un fenómeno es complejo dicho reitero ahora por tercera vez y con ello prometo no hacerlo más. Debe cubrir tres requisitos. Uno, el fenómeno resultante debe generar propiedades emergentes, dos, el fenómeno debe ser no lineal y tres, el sistema debe de exhibir una formación de patrones. Estos conceptos también requieren una explicación.

1. Redes geonómicas, paisaje de aptitud, tensión disipativa, mecanismos de adaptación gradiente de entropía, enredo cuántico, caos determinista, autoorganización, Auto-poiesis, perturbación, clausura operativa, acoplamiento, variedad suficiente, multidimensionalidad, bloque de construcción de agentes, procesos de agrupamiento, externalidades de red, leyes de poder y orden (Hernandez & Rivas, 2008).

Concepto de Emergencia

La palabra emergencia está asociado a la sorpresa a la alarma, a lo inesperado e incierto. Es una palabra que supone peligro y riesgo inminente. La emergencia también se asocia a la catástrofe y al desorden, a lo que no se espera y no se desea. Hemos sido educados en la aspiración al orden y a lo previsible por ello la emergencia es vista siempre como algo malo que se debe evitar.

Según el diccionario de la lengua española emergencia es una palabra que proviene del latín *Emergens- entis* que significa emergente. Es polisémica, es decir, tiene varios significados:

“1. f. Acción y efecto de emerger. 2. f. Suceso, accidente que sobreviene. 3. f. Situación de peligro o desastre que requiere una acción inmediata. En algunos países como Guatemala México, Venezuela Puerto Rico es también como se llama a la sala de urgencias de un hospital: Emergencias.” (Real Academia, 2015).

El común denominador, sin embargo, coincide con un suceso inesperado que emerge y no se espera siempre es sorprendente y casi siempre negativo, al menos en el corto plazo.

En el estudio de los sistemas complejos la *emergencia* tiene un componente más filosófico. Está asociado a la *incertidumbre* la cual cuestiona el determinismo, el mecanicismo y los enfoques cuantitativos formales y lineales en las que se basa la ciencia tradicional a partir del siglo XVIII. La aparición de la incertidumbre rompe con la búsqueda esquizofrénica del orden y el control en los que sustenta la cultura occidental.

Nuestro mundo está lleno de incertidumbre, turbulencia, caos, evoluciones impredecibles conflictos que escalan en distintas magnitudes y tienen relaciones no lineales entre causas y efectos.

La ruptura súbdita, la dislocación social, el regreso al tribalismo, la seducción del populismo, la fascinación que ejercen líderes corruptos y mentirosos pero que prometen orden y progreso, el renacer del nacionalismo y lo local cuando ya nos creíamos globales, las redes criminales que muestran una sorprendente base social, obligan a la creación de una nueva epistemología del conocimiento que permita entender los nuevos patrones colectivos que tienen muchas razones. Este marco analítico, esta nueva multidisciplinar científica son los sistemas complejos.

Figura 1. Emergencia



Fuente: (Emergence a PITC WorkShop, 2005)

La emergencia está asociada a la sorpresa a lo nuevo a lo inesperado. Es una ola que destruye los castillos que habíamos construido en la arena y nos obliga a prepararnos para lo inesperado, para gestionar la incertidumbre que es el nuevo signo de nuestro tiempo.

En el pasado las personas vivían y morían en un mismo lugar. Entraban a trabajar en una empresa y se jubilaban para vivir su vejez disfrutando de su familia. En la actualidad nos levantamos sin saber qué ocurrirá y como será nuestro día. Es la gestión de la incertidumbre que nos ha pillado sin herramientas metodológicas y sin un marco intelectual, pero está presente en todo lo que hacemos y nos inunda con su influencia universal.

La emergencia es una categoría onto – epistémica- antropológica que pone fin a las dualidades en la que hemos sido educados: bien y el mal, armonía y confusión, orden- caos. La emergencia es la incertidumbre que nos obliga a navegar en un nuevo mar del saber. Un orden basado en turbulencia, la falta de certeza y la duda permanente (Campos, 2007).

Definición de Emergencia

Es la propiedad de un sistema que surge como resultado de un evento intempestivo y que busca la adaptación a un nuevo orden que constituye una evolución.

Formación de Patrones

Este es otro de los conceptos centrales que se ido configurando en los últimos años con la evidencia que proviene de la Ciencia de la Complejidad, Epistemología, Teoría de Redes y la Simulación de Sistemas Complejos.

El concepto de *patrón* es una palabra polisémica que se observa en muchos campos del conocimiento. El término se usa lo mismo en el arte, en la física, en la geometría, en la informática, la etología, la psicología, la geología y las matemáticas.

En América Latina es una forma de respeto que denota jerarquía superior en el que la recibe y es un símbolo de humildad y de aceptación resignada de la superioridad del emisor. “ ¿Quiere que le ayude con la maleta Patrón?”. Me dijeron varios hombres que aguardan la llegada de mi barco en Manaos. Aunque en México es común en los pueblos. En Brasil me asombró. Este clasista concepto de patrón, es también una forma colectiva de trato.

En el arte es un estilo de dibujo, el uso de grecas o reiteraciones, las figuras que se repiten o sonidos que se reiteran (*obstinata melódica*) generan un patrón, en muchos géneros musicales. Los acordes iniciales un trombón, un acordeón, un güiro, una guitarra eléctrica denotan el inicio de un ritmo. Y al escucharlo se prepara para el baile. En lo personal siempre me sorprende la barbaridad de tiempo que dedican las personas a la música. Quizás es un escape a una realidad alterna que permite enfrentar una realidad difícil de gestionar.

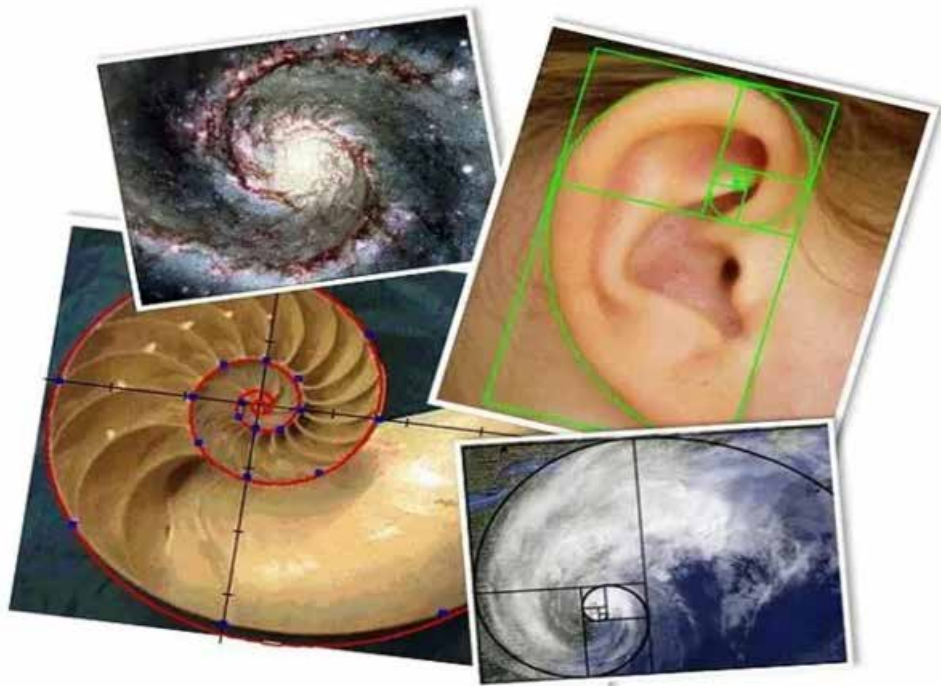
En el estudio de los sistemas complejos *la formación de patrones* es la búsqueda afanosa de la *concordancia que consiste* en comprobar la presencia de los componentes de un patrón están presentes es un sistema, e identificar la detección de patrones subyacentes para predecir un compartimento futuro con un alto grado de certidumbre.

El mejor ejemplo de lo que es un patrón lo ejemplifica el número áureo también llamado el ojo de Dios por ser un patrón universal. El número áureo también llamado número *phi* es 1.618. Es universal y se encuentra en prácticamente todas

las ciencias. En los fractales, en los algoritmos informáticos, en las estructuras de los minerales, en ciertos comportamientos humanos descritos en la psicología. Fue descubierto en la antigüedad, ya Euclides en el siglo III, A . C. se refería a él. Según Mario Livio .” en 1509, Luca Pacioli publicó el libro *De Divina Proportione* (*La Divina Proporción*) describiendo su existencia. El pintor alemán Dürero solía dibujar con regla y compás la espiral áurea basada que es llamada “espiral de Dürero”. En geometría se asocia al pentágono. E música al Pentagrama “ (Livio, 2006).

En la figura 2 se muestra la formación de patrones que sigue una galaxia, una oreja humana, un huracán, la concha del Nautilus cuatro ejemplos que parecen tan distantes pero que presenta de patrón de la proporción aurea .

Figura 2. Formación de Patrón de la Regla Aurea



Fuente: (Livio, 2006) (ABC España, 2014)

La formación de patrones es una de las búsquedas centrales, y podríamos decir, que es uno de los hallazgos fundamentales de los sistemas complejos que a diferencia de otras ciencias no pueden ser identificados sino a través de la interacción conjunta de los objetos de estudio que bien pueden ser: mercados bursátiles,

conducta animal, fenómenos meteorológicos o naturales, conducta humana. En dos palabras: comportamiento colectivo.

Definición de Formación de Patrones

Es un conjunto de sucesos o eventos reiterativos resultado de múltiples fuerzas que generan una tendencia y permiten predecir un comportamiento colectivo.

No linealidad

Los sistemas complejos a diferencia de los sistemas tradicionales basados en el paradigma de la segunda ley de Newton asumen que a toda acción corresponde una reacción igual. Este paradigma es la base de la ciencia tradicional y su ley del Talión. El ojo por ojo y diente por diente. Sin embargo, los sistemas complejos no se comportan así. Por cada ojo miles de ojos pueden ser reclamados. Un traidor puede más que mil valientes (en el corto plazo). Existe una desproporción entre las causas y los efectos. Pequeñas acciones pueden desencadenar reacciones desproporcionadas, bien sea por el efecto acumulativo de las acciones individuales que se suman o bien por un evento excepcional que genera una reacción que se multiplica exponencialmente, como la metáfora de la mariposa que con el leve aleteo de sus alas desencadena un tremendo huracán, o pensando en la nieve y sus montañas, es el copo de nieve que al caer genera una avalancha. La gota que derrama el vaso. El grito que desencadena la revolución y la toma del palacio. La guerra que evidencia la dependencia energética de la energía fósil rusa y que genera una revolución verde en Europa. El voto que propicia una transformación social, la palabra que decide el divorcio, la humillación que desencadena la independencia de un país, la mirada que desata la pasión. El poema que decide el matrimonio. Es el descubriendo de la paciente o que alberga el gen del Alzheimer y la mutación es su mismo cuerpo que previene su enfermedad.

Es un virus microscópico, que salta de un murciélago a un humano y provoca millones de infecciones y muertes en todo el mundo, que hace tambalear los sistemas sanitarios, económicos, sociales y políticos y produce una gran transformación.

Desde el punto de vista matemático los sistemas *no lineales* tienen un comportamiento que no puede expresarse como la suma de los comportamientos de sus descriptores y las ecuaciones que regulan su comportamiento *son no lineales*.

La no linealidad está asociada a comportamientos, impredecibles o caóticos. Y al fenómeno se conoce como auto *interacción*. Es decir, el efecto sobre el propio sistema del estado anterior del sistema. Al fenómeno también se le llama recursividad. Sólo hasta la aparición de los nuevos programas de simuladores es que los sistemas no lineales han podido ser comprendidos y caracterizados comprendidos, analizados y evaluados.

..” *En la física contemporánea algunos ejemplos de sistemas no lineales son: Las ecuaciones de campo de Einstein que describen el campo gravitatorio dentro de la teoría de la relatividad general, las ecuaciones de Navier-Stokes de la dinámica de fluidos, la óptica no lineal, el sistema del tiempo atmosférico en la Tierra. Ma recientemente esta como evidencia el hallazgo y prueba del bosón de Higgs, la llamada partícula de Dios...*” (Malinietski, 2006).

Definición de No Linealidad

Es el comportamiento desproporcionado de un sistema ante una minúscula interacción que trasforma por completo su operación y provoca un cambio que puede ser evolutivo o catastrófico que lo conduzca al caos.

Estas dos características como se ha reiterado hasta la extenuación: *no linealidad y emergencia* los dos requisitos indispensables para que un sistema pueda ser considerado complejo. Es importante recordarlo siempre ya que en la ciencia tradicional la complejidad y los sistemas complejos se han vuelto una palabra de moda y existe la propensión de llamar a todo “sistema complejo”, sin embargo, si un sistema no exhibe estas dos propiedades no puede ser considerado complejo.

A partir de las clasificaciones de sistemas mencionadas en (Rivas L. A., 2010), los sistemas pueden ser clasificados de diversos modos según distintos autores sin embargo, una clasificación comprensible es la siguiente:

1. Sistemas estáticos que son relativamente simples con pocos componentes (cuyo ejemplo es un reloj o una caja de fichas bibliógraficas que solían usarse en las bibliotecas antiguas). Cuyas partes no funcionan hasta que alguien les da cuerda o los revisa con la mano.
2. Sistemas ordenados que, aunque pueden tener muchos componentes tienen patrones que se repiten en el tiempo y un sencillo algoritmo puede predecir su conducta.
3. Sistemas dinámicos que son también ordenados y pueden llegar a tener muchos componentes, sin embargo, evolucionan con el tiempo. Sin bien

sus estados pueden ser predichos casi con absoluta certeza. El cuerpo humano y su evolución con el pasar de los años es un buen ejemplo. Puede haber variaciones y algunas excepciones, sin embargo, la gran mayoría tenemos patrones de evolución similares.

4. **Sistemas complicados.** Son sistemas que tiene un gran número de nodos e interrelaciones que resultan difíciles de comprender a simple vista, sin embargo, presentan patrones de conducta constantes y lineales y pueden ser predichos con gran certeza mediante técnica de investigación de operaciones. Un ejemplo de ellos son los programas de sistemas de transporte colectivos que tiene unas grandes interrelaciones y diferentes tipos de transporte. El sistema de transporte de Paris con sus trenes, metros, autobuses es un buen ejemplo. Tratar de entenderlos puede llevar bastante tiempo sin embargo la descarga de una aplicación para teléfono móvil (gratuita) nos puede decir que hacer para llegar de un lugar a otro.
5. **Sistemas complejos.** Sistemas altamente relacionados altamente relacionados entre sí que presentan interrelaciones que pueden ser impredecibles por las conductas emergentes colectivas de las interacciones de los elementos y que frecuentemente se encuentran en los límites del caos.
6. **Sistemas caóticos.** Sistemas aperiódicos que presentan implicaciones geométricas en sus interrelaciones y cuyos estados son desconocidos en el espacio y el tiempo.

Una explicación más clara y grafica de la manera que el sistema complejo se transforma a partir de la interacción orden-desorden, azar, incertidumbre, no linealidad, convergencia, divergencia, estabilización y catástrofe y caos se muestra en el modelo LART de evolución de los sistemas complejos que aparecen en la Figura 2.

MODELO LART DE EVOLUCIÓN DE SISTEMAS

En el modelo LART de evolución, los sistemas se dividen en cuatro tipos: Sistemas simples, sistemas complicados, sistemas complejos y sistemas caóticos.

Los sistemas simples son sistemas previsible con claras relaciones causa efecto, por lo general se trata de sistemas repetibles de procesos rutinarios basados en

normas, con problemas y soluciones conocidos por personal capacitados que requiere solo capacitación técnica o universitaria. En sistema simple es posible usar Benchmarking para comparar eficiencias. Suelen ser gestionados por eficientes burocracias Weberianas, es posible aplicar mejoras con el uso de reingeniería de procesos y técnicas de mejora de la gestión de tipo determinista.

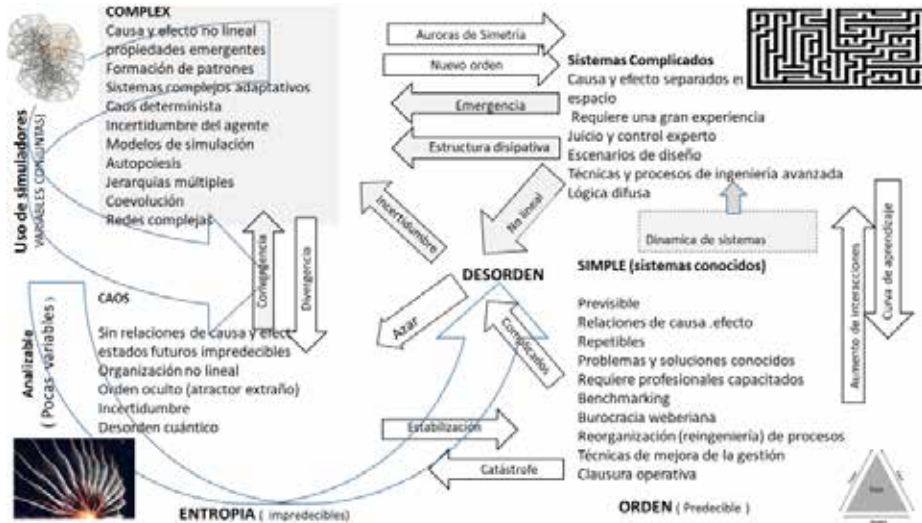
Los sistemas complicados son resultado de la dinámica de sistema que va incrementando interacciones que los complican, persisten las relaciones causa-efecto pero separadas en el tiempo, por ellos solo pueden ser identificadas para ojos expertos con gran experiencia, su gestión y evaluación y control requiere de personas o sistemas tecnológicos que requiere estudios de especialización y posgrado, que dominen técnicas de ingeniería y administración avanzadas y TIC's. En estos sistemas complicados es posible el uso de la lógica difusa. Los sistemas complicados pueden mutar de tres formas: Con el paso del tiempo los gestores de estos sistemas entran en una curva de la experiencia y un sistema complicado puede hacerse simple, pero si el sistema complicado recibe fuerzas no lineales e interviene el azar puede volverse caótico. Finalmente, si surge la emergencia y su estructura comienzan a disiparse el sistema puede mutar a volverse complejo

Los sistemas complejos son aquellos que tienen relaciones causa-efecto no lineales que producen propiedades emergentes que forman patrones de comportamiento colectivo y crear el llamado caos determinista, donde hay incertidumbre en la conducta de los agentes jerarquías múltiples hay autopoiesis, se puede ver con redes complejas y modelos de simulación de sistemas.

Los sistemas caóticos se forman de tres maneras: Un sistema complejo puede comenzar a aumentar su divergencia y no es posible identificar las relaciones causa-efecto, por lo tanto los estados futuros son impredecibles, existe un orden oculto pero solo es posible visualizarlos a través de atractores extraños tipo el de Lorenz, la incertidumbre sobre la evolución es la única certeza y el sistema exhibe un desorden cuántico. El segundo camino es que un sistema complicado derivado de fuerzas lineales y de azar producido quizás por un accidente se vuelve caótico y finalmente un sistema simple y ordenado puede volverse caótico si ocurre una catástrofe como la caída de un meteorito o una erupción repentina. En estos sistemas la entropía se asocia al desorden propio de sistemas abiertos.

El modelo LART de evolución de sistemas ilustrado en la figura 3 explica estas dinámicas de transición de fases.

Figura 3. Modelo LART de Evolución de Sistemas



Fuente: Elaboración propia

En este libro nos ocuparemos entonces de tratar de comprender los sistemas destacado en color gris que representa lo intermedio entre el negro y el blanco, entre la luz y la sombra, entre la noche y el día, entre el caos y el orden, entre la ciencia y la ignorancia; Bienvenidos al tren de sombras de la ciencia.

La estructura del libro y lo que apoyará en la descripción y explicación de los conceptos centrales de la Ciencia de la complejidad ha sido dividida en siete grandes tributarios que son los ríos del conocimiento sobre sistemas complejos :

1. Teoría de sistemas
2. Teoría de sistemas dinámicos
3. Cibernética y Vida Artificial
4. Ciencia de la complejidad
5. Teoría de Redes
6. Simulación de sistemas complejos
7. Inteligencia artificial

MAPA LART DE EVOLUCIÓN DE CONCEPTOS DE SISTEMAS COMPLEJOS

Inicialmente había decidido organizar el libro a partir del mapa propuesto por (Castelliani, 2013) sin embargo, después de estudiar a profundidad las aportaciones de los precursores decidí desechar esta organización ya que resulta confusa en el tiempo. En el mapa de Castelliani aparece indebidamente la teoría de los sistemas dinámicos antes que la teoría de sistemas que sin duda es la teoría seminal de campo. Así mismo, en su propuesta omite la mención a la obra de muchos autores relevantes, tales como: Alan Turing (Inteligencia Artificial), Alexander Lyapunov (1900), Paul Erdős y Alfréd Rényi (Teoría del Caos), Henri de Poincaré (Teoría del Caos), Robert Rosen (Complejidad Biológica), la influencia de las conferencias de Macy, el trabajo de Wimsatt (Pensamiento Complejo) y de Karl Popper (Pensamiento Complejo), las aportaciones de Glen . Mann (Empirismo Complejo) y Stanley Milgram (Teoría de Redes). Hay otras ausencias relevantes como las aportaciones de la Inteligencia social en Robótica, la computación cuántica, el estudio de redes sociales en animales, y el estudio de las redes oscura, entre otros aspectos.² Así mismo, hay agrupaciones de teorías que resultan confusas y otras fueron desestimadas como es el deslumbrante trabajo de Mark Newman que no tiene la relevancia que merece su trabajo.

Es por ello que propongo más que un mapa un modelo de conceptos centrales más claro comprensible al que he denominado Modelo LART de la Evolución de Conceptos de Sistemas Complejos.

Como se observa en la figura 4 la Ciencia de la Complejidad se ha desarrollado en los últimos 120 años, enriqueciéndose con conceptos de muchas ciencias que han hecho convergencia en este cuerpo de conocimiento que es uno de las más estimulantes de la ciencia moderna. Si bien se llama genéricamente *Teoría de la Complejidad* lo correcto sería decir de *Teorías de la Complejidad*. Ante la confusión que esto supone en la mayoría de los centros de investigación y universidades se usa la denominación genérica *Sistemas Complejos*.

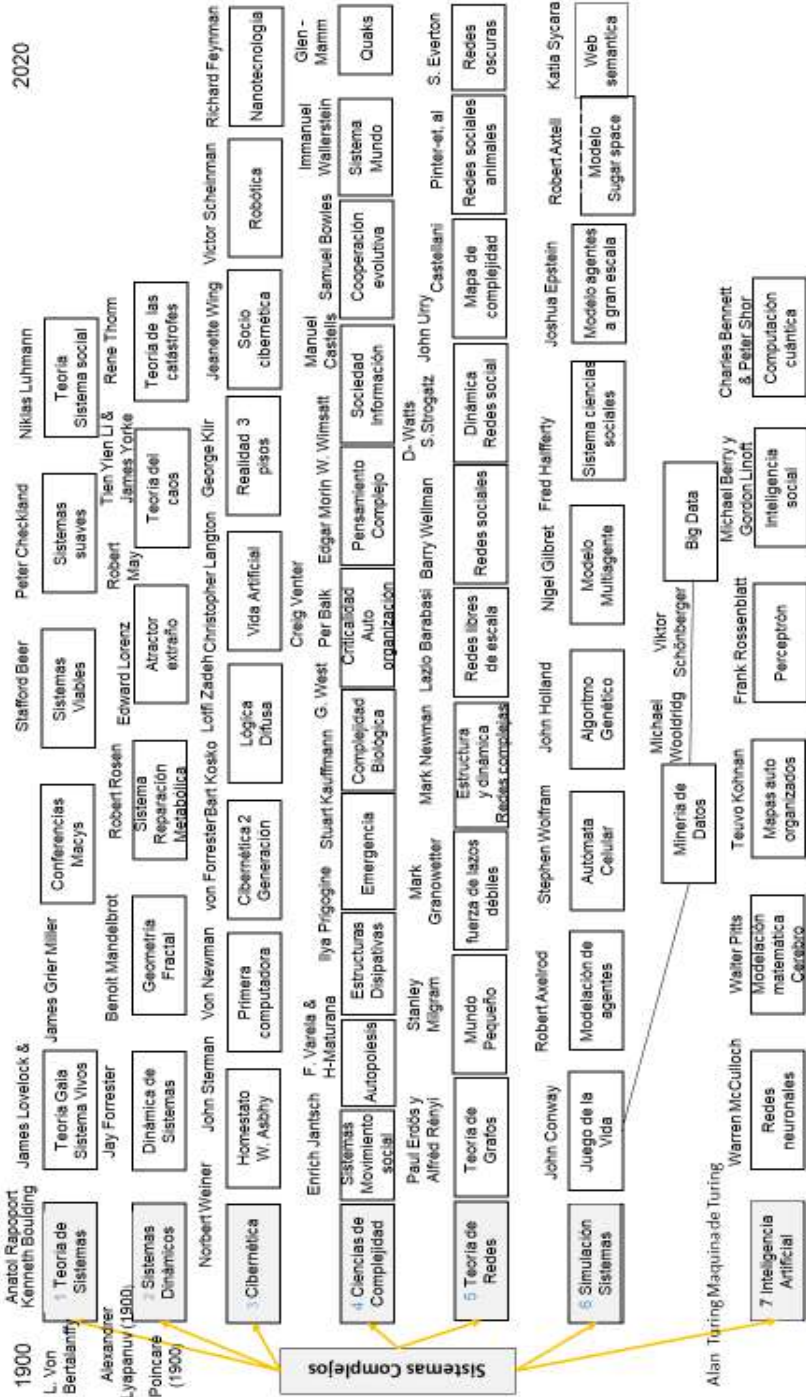
Las ciencias de la complejidad en realidad son como los tributarios de un río enorme que corre a una velocidad de estruendo y nos impide comprenderlo dada su torrente conceptual y disciplinar que exige abandonar la pequeña especialidad con las que nos graduamos en la Universidad y con los que nos educan nuestros

2. Algunas de estas ausencias fueron corregidas en un nuevo mapa que es mucho más completo con las actualizaciones que lo han hecho más robusto, pero también lo hacen más difícil de comprender. Castelliani a quien me encantaría conocer en persona, es en suma un poeta que escribe para poetas. Ver (Castellani, 2018).

profesores a su leal saber y entender. La complejidad exige dejar atrás la especialidad simplona y aventurarse en el estudio (con mucha humildad) del caudal de aportaciones e ideas seductoras, de pensadores maravillosos que nos han dejado montarnos en *sus hombros de gigantes*.

Para quien inicia el camino por el Bosque de la Complejidad nuestro modelo puede serle de utilidad advirtiéndole que *pretende ser un mapa*, una Guía de Conceptos Centrales - acaso un simple croquis- y paradójicamente, al ser menos complicado, pretende seducir a los lectores y animarlos a conocer los siete tributarios. Su propósito no es aportar nada a los sabios del templo. No va dirigido a los conversos, esos, ya han aceptado el evangelio de la multi Ciencia de la Complejidad. Está dirigido a los herejes.

Figura 4. Modelo LART de Evolución de Conceptos de Sistemas Complejos



Fuente: Elaboración propia a partir de (Castellani, 2013)

Capítulo 1

El Primer Tributario: La Teoría de los Sistemas

En este primer tributario de creadores de conceptos destacan: Ludwing Von Bertalanffy, Kenneth Boulding, Anatol Rapoport, James Lovelock, de James Grier Mill, Anthony Stafford Beer, Peter Chekland (sistemas suaves), y Niklas Luhmann. El criterio de inclusión ha sido elegir a los que han hecho aportaciones novedosas de modelos de sistemas y han creado conceptos relevantes en la Teoría de los sistemas.

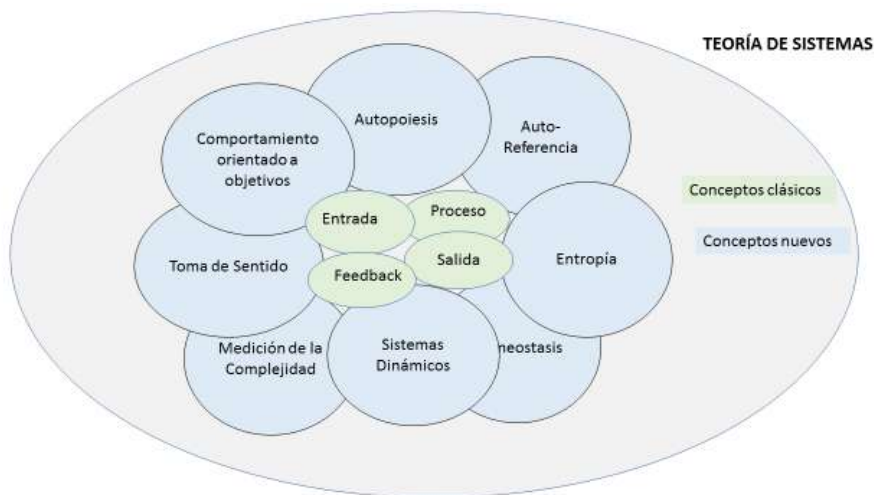
LA TEORÍA DE SISTEMAS: CONCEPTOS BÁSICOS

La teoría de sistemas es el campo de saber que se ha planteado una tarea titánica: descubrir patrones comunes a todos los tipos de sistemas, en sus distintos niveles, en todos los campos del saber. Esta aspiración ha sido recompensada con una enorme popularidad en el discurso técnico- científico- social donde la palabra es usada hasta la extenuación. Incluso los políticos engalanan su discurso con expresiones como: *visión sistémica, enfoque de sistema, alcance sistémico, el sistema y los subsistemas*.

En las universidades es tema obligado de muchas materias, y con ello la Teoría de Sistemas ha ganado además de adeptos por su abordaje interdisciplinario. El pensamiento sistémico es una forma de concebir el funcionamiento de un sistema a través de su gestión integral con un enfoque totalizador bajo la mirada de múltiples disciplinas que al reunirse se fusiona en un concierto que ha ido de la interdisciplina a la transdisciplina, creando a su paso un nuevo grupo de científicos. Un sistema por tanto puede ser definido como un *marco de referencia analítico que permite concebir la interactuación de subsistemas asociados que juntos definen un comportamiento común de carácter global*. La teoría de sistemas tiene cuatro conceptos básicos: entrada (input), proceso, retroalimentación, salida (*output*), retroalimentación (*feedback*) y ocho conceptos de nueva creación para conformar lo que hoy conocemos genéricamente como *teoría de sistemas*, dichos conceptos son: auto referencia, entropía, homeostasis, sistemas dinámicos, medición de la complejidad, toma de sentido, conducta orientada a metas y entropía. Los cuatro primeros conceptos son clásicos de la teoría de sistemas, los

otros cinco se han incorporado después de la década de los 60's. La Figura 1 ilustra estos conceptos básicos.

Figura 1. Conceptos básicos y nuevos en la Teoría de Sistemas



Fuente: Elaboración propia

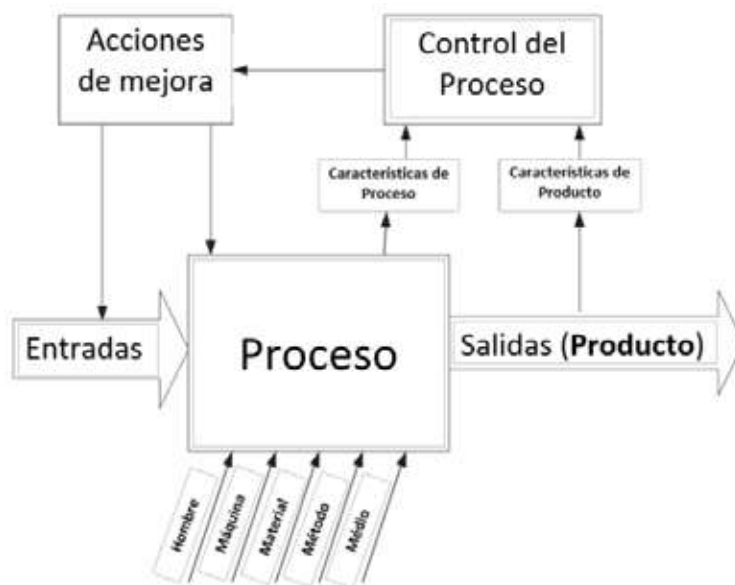
A continuación, los definiremos brevemente antes de describir las aportaciones de sus precursores.

Entradas (Input): Del inglés input la palabras se escribe así en distintos idiomas incluyendo, el francés el portugués, inglés y el español. Un input es in ingreso, una entrada, la fuerza, o el insumo que alimenta un sistema y da inicio a la operación de un sistema.

Resultado o productos (outputs): Son los productos, las salidas, los resultados que genera la operación de un sistema.

Proceso. Es un conjunto de actividades, de pasos, de acciones, de procedimientos o de acciones casi siempre secuenciales o relacionadas que se concatenan para generar productos o resultados.

Figura 2. Proceso de un Sistema



Fuente: (Ingeniería de automoción, 2018)

Retroalimentación (Feedback):

Esta es una palabra que se ha incorporado a muchas lenguas y aunque los anglicismos están mal vistos por los puristas del castellano, el mismo Diccionario de la Real Academia ha santificado su uso. (Real Academia de la Lengua Española, 2019). *Feedback* significa retroalimentación; Suele usarse también como sinónimo de respuesta o reacción (Real Academia de Ingeniería de España, 2014).

En la teoría de sistemas se distinguen dos tipos de retroalimentación: 1) *la de lazo cerrado*, que es cuando el resultado de un proceso de ingreso, proceso y retroalimentación y 2) *la de lazo abierto*, que corren como un río y las adecuaciones al sistema demoran en impactarlo.

Las variables que se usan en las ciencias naturales tales como: temperatura, velocidad, presión, fuerza las cuales se pueden medir con claridad *son de lazo cerrado*. Los sistemas en ciencias sociales exhiben retroalimentación de lazo abierto ya que hay pocas variables controladas y están ejemplificadas en los sistemas sociales o políticos. Como Heráclito afirmaba *“nunca te bañas en un mismo río porque siempre es un río distinto”*.

La retroalimentación en los sistemas de tipo cibernético es muy simple. A pesar de ello, la comprensión del concepto es relevante porque aspiramos como humanos al control de las cosas y aunque se trate de un humilde calentador el conseguir que reaccione a una sola variable parece un gran triunfo.

La retroalimentación de un sistema puede ser negativa si el sistema pierde equilibrio y debe de desarrollar una reacción para equilibrar el sistema. A esto se le llama *respuesta homeostática*. Este concepto se explicará posteriormente con más profundidad.

La retroalimentación positiva ocurre cuando se desestabiliza el sistema porque se ha entrado en un inmovilismo no deseado, pero reforzando una conducta. Por lo general, esto hace que el sistema no llegue a un punto de equilibrio sino más bien a la saturación. Una retroalimentación positiva es un estímulo constante buscando que el sistema genere su máximo.

Existe una tercera forma de retroalimentación que es más compleja de explicar: *La realimentación bipolar*, que puede aumentar o disminuir una actividad de salida. Se observa en muchos sistemas naturales y humanos. Un ejemplo de esta retroalimentación es el efecto que produce el consumo de drogas. Al ingerirlas una persona experimenta una sensación de alegría y una subida de bienestar y felicidad sin embargo después de un espacio de tiempo llega un cansancio, una abulia y una tristeza que estimula a los adictos a aumentar las dosis con consecuencias terribles para la salud y el bienestar emocional.

Hasta aquí hemos explicado brevemente los conceptos que se encuentra prácticamente en cualquier libro de teoría de sistemas. A continuación, se describirán los nuevos conceptos que aparecen en la figura 1.

TEORÍA DE SISTEMAS: “NUEVOS” CONCEPTOS

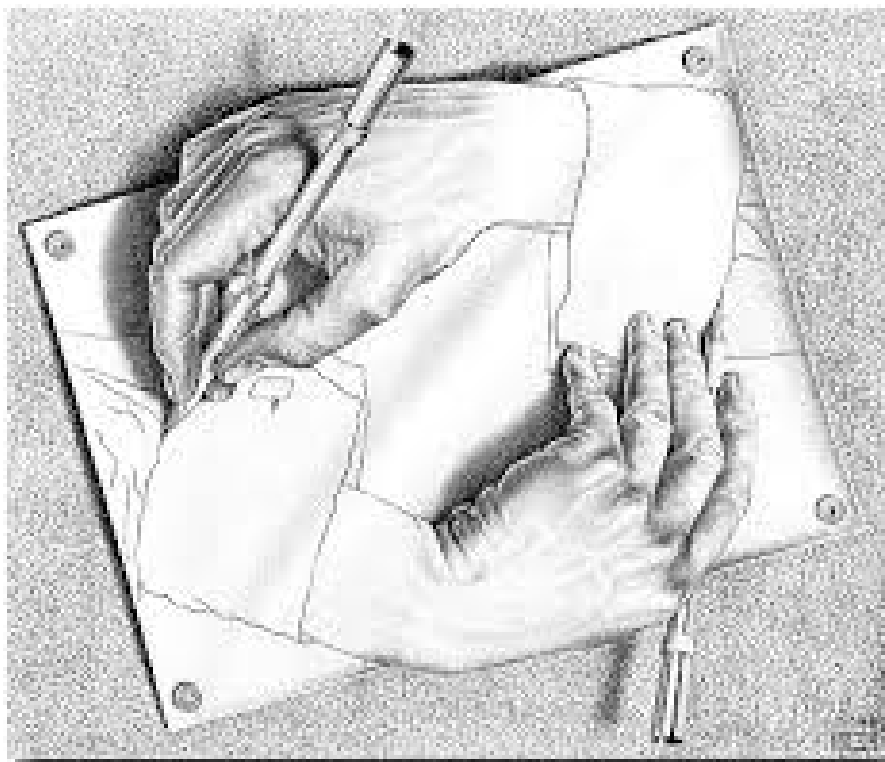
La auto-referencia. Es un concepto que se usa en varias ciencias como la filosofía, las matemáticas, la bibliometría y la computación. En filosofía está asociada a las paradojas. ...” *Una paradoja es un razonamiento basado en suposiciones aparentemente verdaderas que lleva a una contradicción...*” (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2013).

En computación, la auto referencia se observa en un programa puede leer o modificar sus propias instrucciones, así como cualquier dato. En matemáticas, la auto referencia se relaciona con la recurrencia matemática, donde una estructura

de código se refiere de nuevo a sí misma durante el cálculo (Drucker, 2008). En la bibliometría es un peccadillo que solemos cometer los investigadores, al auto citarnos en las propias obras, para que nuestras citas engorden un poco. En la Teoría de Sistemas, la auto referencia se observa en el carácter recursivo que tiene un sistema.

En la Figura 3, Escher el insigne artista austriaco, ilustra bellamente esta propiedad de los sistemas. ¿Cuál es la mano que dibuja y cuál es la que copia?

Figura 3. Auto referencia de Escher



Fuente: (Benotou, 2011)

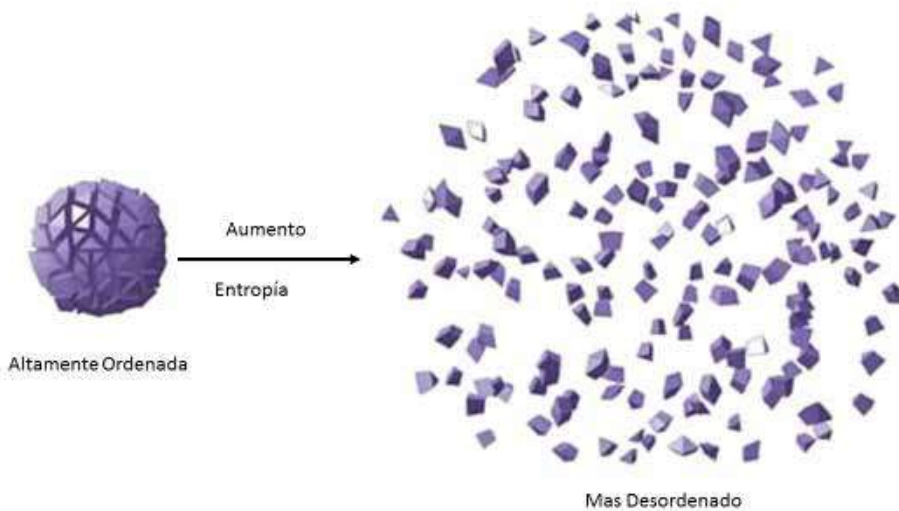
Entropía. Este es uno de los conceptos más interesantes, sin embargo, su significado puede ser confuso ya que por ser una palabra polisémica que se usa en múltiples ciencias: En un sistema termodinámico cerrado, la entropía puede medirse o estimarse. Tal es el caso de un corazón que experimenta un ataque cardiaco lo cual es un evento de desorden descontrolado, en telecomunicaciones puede ser

una interrupción abrupta de un sistema por la pérdida de señal que generar un paro descontrolado. En la física se refiere a la evolución de un sistema hasta su extinción.

Entropía es el desorden repentino, entre más entropía existe más desordenado se vuelve el sistema hasta se llega a los límites del caos, y cuando los traspasa, el sistema nunca regresa a ser el mismo.

En la vida sentimental puede ser un desengaño que nos desbasta y que nos transforma, en un sistema social, la entropía puede tener cara de revolución. En la naturaleza puede ser un volcán o un meteorito que genera una extinción súbita. En los sistemas biológicos, puede tratarse de un depredador sin depredadores que altera el ecosistema y su cadena proficua y que propicia la extinción de una especie. La figura 4 ilustra el concepto de entropía.

Figura 4. Entropía de un sistema



Fuente: (Bob, 2014)

Históricamente, el concepto de entropía ha evolucionado para explicar procesos que se producen de forma espontánea. Es importante destacar que, en los sistemas aislados, la entropía nunca disminuye. Estos sistemas, sin embargo, no existen en la naturaleza, ya que todos los sistemas tienden a ser abiertos y a in-

teractuar con su entorno. La entropía suele ser explicada por la segunda ley de la Termodinámica³.

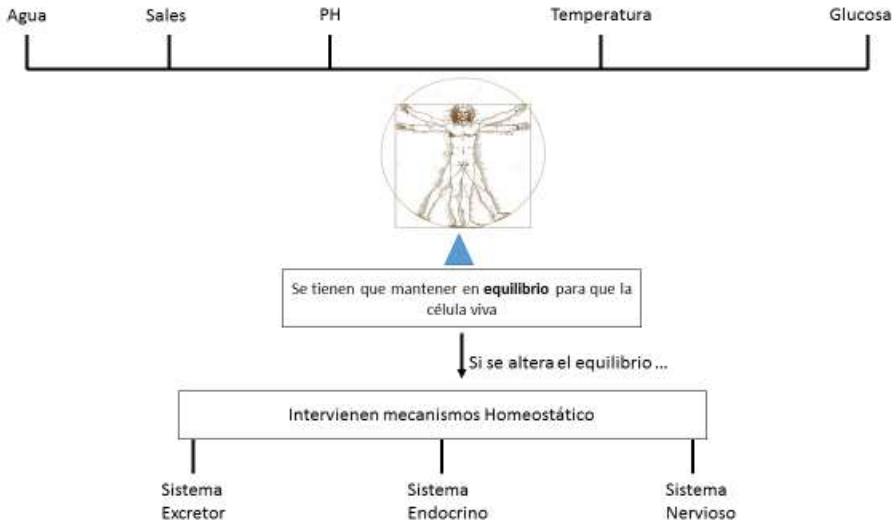
Homeostasis: es una palabra compuesta de origen griego que significa literalmente estabilidad similar. Todos los sistemas buscan su preservación y su supervivencia. El mantener su equilibrio y con ello su salud supone desarrollar procesos de auto regulación que permiten mantener las propiedades.

No es de extrañar que el concepto fuera creado por un fisiólogo Bradford. Por ello cabría afirmar que homeostasis es la capacidad que tiene un sistema por mantenerse estable. Los ejemplos de la mayor estabilidad en los seres vivos se encuentran en el mar. Las esponjas marinas y los tiburones prácticamente no han cambiado en millones de años. Ya que aunque ha habido grandes catástrofes y cambios climáticos, la estabilidad de los océanos se ha mantenido con variaciones asumibles para estos seres maravillosos. En la actualidad ambos se encuentran en peligro por la plaga humana que contamina los mares y da caza a los tiburones de una manera inmisericorde. Según la International Shark Attack Federation (ISAF) en 2021 hubo 73 mordeduras de tiburones en todo el mundo y de estas 11 provocaron la muerte. Según el director de la ISAF, 150 personas murieron por caída de cocos en sus cabezas. En contraste los tiburones asesinados por los humanos según un estudio de National Geographic llegó a 100 millones. Tanto pesca comercial como por caza recreativa.

En la Figura 5 se muestra la respuesta típica del cuerpo humano ante una alteración de su equilibrio. Cuando ocurren cambios drásticos en agua, sales, el PH, la temperatura y la glucosa del cuerpo entran en funcionamiento un mecanismo fisiológico *homeostático* que, mediante los subsistemas excretores, endocrino y nervioso restaura el equilibrio perdido.

3. Según la segunda ley termodinámica un sistema cerrado puede disminuir, incrementar o mantener constante el grado de desorden (entropía).

Figura 5. Homeostasis en el cuerpo humano



Fuente: Elaboración propia a partir de (Rodríguez, 2012)

..“Las estrategias de adaptación de un sistema ante una perturbación del entorno pueden ser de tres tipos: 1) De evitación. En la naturaleza se observa fenómenos en los animales tales como la hibernación, el sopor, la diapausa, entre otros. 2) De conformidad: Se busca una aclimatación tratando de armonizar la velocidad funcional anterior al cambio. 3) De regulación: Son acciones compensatorias que mantienen el ambiente interno relativamente constante.” (Cannon, 1929).

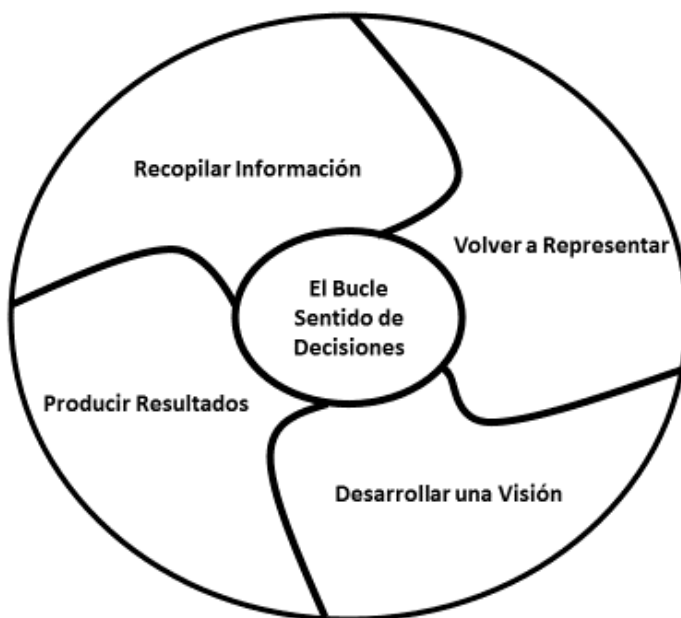
Es los modelos reales los sistemas tienden a cambiar las estrategias de adaptación dependiendo del medio ambiente y los recursos con los que cuentan.

La homeostasis en inglés se llama *feedback loop* que suele ser traducido como *bucle de retroalimentación*. Cuando un sistema entra en desequilibrio derivado de la influencia de la entropía, aparece un bucle de retroalimentación integrado por cinco elementos: un *Sensor que recibe las demandas del sistema*. Un *Integrador* que actúa como un centro de control. Un *punto de ajuste*. Un *conector de efectos* que regresa la información al integrador y un *retroalimentador* que produce respuestas negativas que invierte el cambio, o bien, respuestas positivas que amplifica la magnitud del cambio.

Dar Sentido (Sensemaking). Este es un concepto que fue propuesto por Karl Weick en sus estudios de organizaciones. En la actualidad se usa en muchas dis-

ciplinas particularmente en la psicología para describir el proceso por el cual una persona da sentido al mundo que percibe. En la teoría de sistemas *sensemaking* se refiere al proceso de adquisición de la conciencia situacional bajo incertidumbre (Weick, 1995).

Figura 6. El bucle del sentido de decisiones



Fuente: (Hamideh, 2012)

Orientación de conducta a metas (Goal Oriented Behavior)

Es un concepto que ha sido desarrollado básicamente por expertos en comportamiento humano y especialistas en educación, pero que pueden ser extrapolados a todos los sistemas dados que el objetivo de un sistema es conseguir objetivos.

El concepto de orientación de meta fueron propuesto en 1970 por el psicólogo educativo JA Eison, quién afirmaba que los estudiantes iban a la universidad como una oportunidad para adquirir nuevas habilidades y conocimientos lo que les aportaba *una orientación de aprendizaje* mientras que los estudiantes que se

acercaron a la universidad con el objetivo de obtener exclusivamente altos grados poseían una orientación de grado (Elison, 1979)

Existen múltiples estudios que han utilizado orientación a la meta para predecir el rendimiento de ventas, establecimiento de metas, el aprendizaje y conductas adaptativas en la formación, y liderazgo. (DeGeest & Brown, 2011). Ver figura 7

Figura 7. Estilos de personalidad orientados a metas



Fuente: (Mandensen, 2014)

Según Mandensen (2014), en el desarrollo de un sistema orientado a la realización de un proyecto se distinguen 4 estilos de liderazgo: Estilo D (Dominio) – es un líder, orientado a las tareas que se centra en hacer las cosas. Tiene un estilo controlador. Son orientados a objetivos, muy competitivos e impacientes. Suelen ser gerentes, directores generales y ejecutivos trabajos que requieren responsabilidad, toma de decisiones y liderazgo. Para llevarse bien con ellos hay que respetarlos, ser directo e ir al grano, dar resultados, evitar las generalizaciones y centrarse en las soluciones en vez de problemas.

El estilo I (Influencia) – Es un líder orientado a las personas que le encanta interactuar, socializar y divertirse. Suelen ser expresivos. Suelen construir excelentes relaciones con sus clientes. Para construir una relación con ellos hay que mostrarles admiración y reconocimiento. Par llevarse bien con ellos hay que compartir experiencias, pero asegúrese de darles tiempo para hacer preguntas y hablar sin sobrecargarlos con detalles.

Estilo F (Firmeza) – Es un líder estable orientado a las personas que disfruta de las relaciones, que le gusta crear equipo. Suele ser amables y privilegiar la armonía y la cooperación y no les gusta decir a los demás lo que deben hacer. Para llevarse bien con ellos hay que ser amable mostrar interés en ellos ser cortés, y evitar la confrontación y ser grosero.

Estilo E (Escrupuloso) – Es un líder que está orientado a la tarea, pero a diferencia de estilo D, está impulsado por el valor, la coherencia y la información de calidad. Estos líderes suelen ser correctos preciso y analíticos, y prosperan en tareas que requiere precisión y capacidad de análisis. Para llevarse bien con ellos hay que hacer equipo, hacer seguimiento de datos, proponer soluciones eficaces a un problema, centrarse en los hechos y detalles, ser paciente y diplomático y minimizar la charla y el lenguaje emocional. Suelen ser expertos de TI, contadores e investigadores (Mandensen, 2014).

En un sistema la orientación de meta está en función de su historia, la estabilidad, sus variables, antecedentes, su relación con la fijación de objetivos, así como, su relevancia para la motivación y la orientación futura de la investigación.

MEDICIÓN DE LA COMPLEJIDAD

Como ya hemos mencionado en el capítulo anterior los esfuerzos por crear métricas para medir la complejidad provienen de diversos campos del saber dentro de los que destacan las matemáticas y la propuesta de Kolmogorov quién propuso una medida de la complejidad con una cadena binaria y un programa de cómputo.

Shannon también propuso un modelo de entropía para medir la complejidad en la información a partir del grado de diversidad en un rango de 0.5 a 5 con valores promedio de 2.5 (Pla, 2006).

McCabe en el campo de la informática, propuso un método de medición de la complejidad lógica en un programa de cómputo (McCabe, 1976).

Edmonds concluyó en una revisión panorámica realizada en su tesis de doctorado que ninguna de las medidas para medir la complejidad son precisas, por tres razones con las cuales concuerdo: (Funes, 2001).

1. La complejidad depende del observador.
2. Siempre aparecen niveles de complejidad emergentes.

3. La interdependencia de un sistema complejo en los modelos de Kolmogorov, Shannon y McCabe proponen subsistemas o módulos, lo cual por definición lo hace un fenómeno determinista.

Por lo anterior cabe afirmar que el grado de complejidad no se puede medir. Se puede medir lo complicado pero lo complejo solo se expresa mediante patrones de comportamiento colectivo.

Autopoiesis

Este es un concepto algo confuso que fue propuesto por dos biólogos chilenos: Maturana y Varela. En el capítulo 4 volveremos a él pero puesto que forma parte de la renovada teoría de los sistemas requiere un breve espacio.

La palabra *Autopoiesis* que es difícil de decir en cualquier idioma proviene del griego: *αὐτο, ποίησις* [auto, poiesis], y tiene un significado múltiple ya que puedes ser 'a sí mismo; creación, producción'.

La verdad es que el concepto prendió, pero tuvo que ser clarificada posteriormente. Las definiciones de sus autores en mi opinión son oscuras e incluso contradictorias.

..“La Autopoiesis es una propiedad básica de los seres vivos, asociada a su autonomía..” (Varela, Maturana, & Uribe, 1974).

Cuando un sistema Autopoiteico muere el ser vivo rompe sus mecanismos endógenos y exógenos. Sin embargo, la muerte no es el fin de un sistema Autopoiteico ya que ha dejado semillas que preservan su imagen y aseguran su especie.

Este concepto fue retomado por el sociólogo Luhmann. Quién ha reinterpretado el concepto en la sociedad en la cual percibe que: *..“Existen mecanismos de auto organización y la autoproducción de las sociedades en contextos de contingencia y riesgo que aseguran su continuidad...”* (Luhmann, 1997).

Esta concepción de Luhmann aunque fascinante sobre los fenómenos sociales ha sido refutada por Maturana y Varela ya que ellos, al fin biólogos afirman que: *..“Si lo que hace a un ser vivo es ser un sistema Autopoiteico molecular, lo que hace al sistema social, no puede de ninguna manera ser lo mismo, en tanto el sistema social surge como sistema distinto del sistema vivo al surgir en la distinción como sistema social, aun cuando su realización implique el vivir de los seres vivos que le dan ori-*

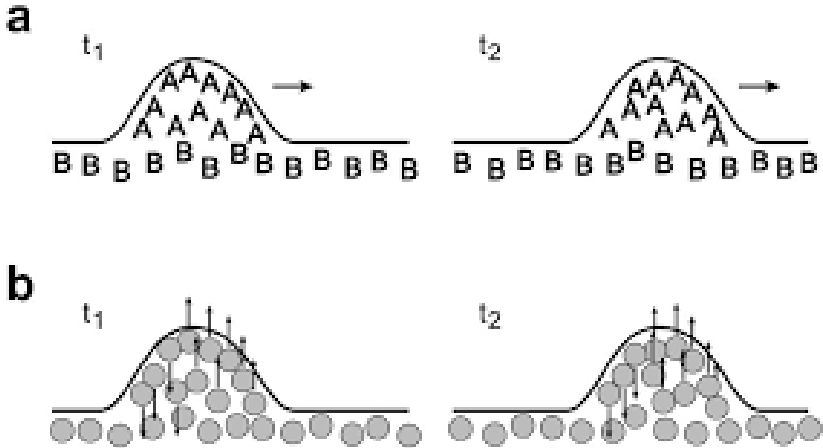
gen"... (Varela & Maturana , 1997). Un ejemplo de un sistema Autopoietico se ilustra en la figura 8.

En mi opinión Luhmann tiene razón, la sociedad puede ser concebida como un sistema Autopoietico. Y aunque muera o se extinga, consigue dejar semillas que la preservan. El ejemplo más claro que se me ocurre citar es la deslumbrante civilización romana que duró casi 14 siglos. Aunque se extinguió en el siglo V. En el año 476 para ser exactos cuando el emperador Rómulo Augústulo, fue depuesto y asesinado por el bárbaro Odoacro. Se preservó el latín que es el origen de todas las lenguas romances incluido el español en el que escribo, los romanos gracias sobre todo al emperador Justiniano que gobernó los vestigios del imperio romano desde Constantinopla hasta el siglo VI, preservó e integro el derecho romano. La instituciones democráticas en Occidente han preservado la organización política del senado, que a su vez copiaron de los griegos, incluidas las intrigas y perversiones de los políticos y las instituciones políticas romanas, cuyos rastros se perciben con diferentes énfasis en las sociedades modernas.

En nuestra opinión la Autopoesis es la propiedad que tiene un sistema de producirse a sí mismo y acoplarse a su entorno.

Definición
 Es la capacidad de un sistema de reproducirse y preservar su legado en el tiempo

Figura 8. Sistema Autopoiético



Fuente: (Razeto- Barry & Ramos- Jilberto, 2013)

LA TEORÍA DE SISTEMAS (LUDWING VON BERTALANFFY)

Von Bertalanffy, a pesar de ser biólogo ha sido una de los científicos más influyentes en múltiples campos. Se le considera el creador de la Teoría General de los Sistemas, la cual fue concebida y desarrollada entre 1950 y 1970. La Teoría General de Sistemas, sin bien surgió haciendo metáforas biológicas por la formación de Bertalanffy con el paso de los años constituyó una formulación conceptual para comprender mejor el mundo real.

Bertalanffy se inspiró en los trabajos de Köhler en particular su idea de los *sistemas abiertos*. Los cuales son sistemas que mutan con su entorno y responden a sus cambios.

Otro pensador relevante que influyó a Bertalanffy es Lotka (1925) quien desarrolló un concepto general de los sistemas - sin restringirse solo a la física como proponía Kohler-, aplicándolo a problemas sociales. Lotka concibió a las comunidades como sistemas. Lamentablemente sólo es conocido por sus ecuaciones de Lotka-Volterra utilizadas en ecología, y ni siquiera es considerado un precursor de los sistemas a la altura de Bertalanffy porque como bio-matemático y estadístico, se interesó más en el estudio de las poblaciones y la demografía (Von Bertalanffy, 1976).

En contraste, Bertalanffy propuso el estudio de los organismos como un todo. La idea de la teoría de los sistemas fue acogida con escepticismo y fue calificada de presuntuosa y trivial, ya que la aplicación de $2 + 2 = 4$ a manzanas, dinero y galaxias era simplista, ya que proponía analogías que ocultaban diferencias profundas. A pesar de que este enfoque era en efecto reduccionista perimida producir principios validos en todas las ciencias de allí su gran acogida en todos los campos del saber.

La gran contribución de Bertalanffy, es que aportó un marco general para unificar las ciencias alrededor de la teoría de los sistemas. Adicionalmente el diagrama de entrada . proceso , salida retroalimentación es de una simpleza capaz de ser comprendida por todos. Tiene la fuerza de la universalidad.

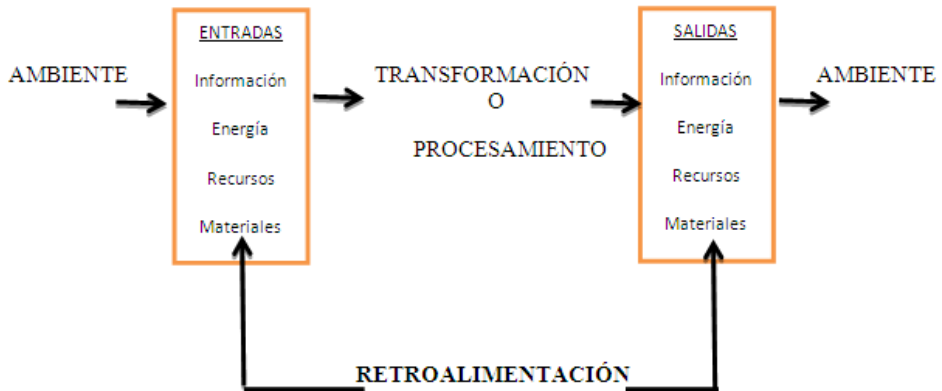
Un concepto sencillo que te permite comprender como funciona todo (Von Bertalanffy, 1976) .

La teoría de los sistemas suele ser representada por un gráfico muy comprensible donde existen entradas. Un proceso, una salida y un proceso de retroalimentación, en mi opinión esto es incorrecto porque se refiere exclusivamente a sistemas estáticos que asumen que un sistema no cambia *hasta el final* de un proceso y no durante él. La realidad prueba que esto es falso ya que en la aplicación de una

acción, la retroalimentación se da en el mismo instante en muchos sistemas. De hecho, como lo menciono el filósofo griego Heráclito, un hombre nunca se baña en un mismo río ya que al correr este es un río distinto todo el tiempo. De la misma forma un sistema biológico o social nunca es igual ya que muta y evoluciona todo el tiempo y nunca es el mismo. Sin embargo uno d ellos pilares de la Física que es una de las madres de la ciencia es la reducción, por ello aunque no sea así permite comprender como funcionan las cosas, los organismos, las empresas, los planetas, la vida.

Sin embargo, como nuestro libro está basado en el derrumbe de los paradigmas debemos insistir que la aplicación de la teoría de los sistemas es válida para sistemas estáticos. La Teoría General de los Sistemas ilustra en la figura 9.

Figura 9 . La Teoría de los Sistemas



Fuente: *Elaboración propia a partir de (Ashby, 1956)*

Su aplicación en las ciencias sociales es ampliamente usada la mayoría de las veces de una manera superficial. En la Administración, qué injustamente ha sido calificada como una “ciencia de rapiña” porque muchos de sus precursores provienen de otras tradiciones metodológicas y otros saberes, ha hecho un uso eficaz y hasta la fecha es un curso obligatorio tanto en el pregrado como en las maestrías. Sin embargo, es el momento de cambiar y usar otros enfoques más acordes a la realidad de nuestra época donde la fugacidad y la rapidez han hecho obsoleta a la vieja teoría de los sistemas.

LA TIPOLOGÍA DE SISTEMAS (KENNETH BOULDING)

Boulding fue un economista inglés de humilde cuna que sin embargo, consiguió graduarse de la Universidad de Oxford. Aunque era algo tartamudo, cuando habla en público se transformaba y era cautivador. Fue un provocador y una mente creativa con una altura intelectual de talla mundial, no solo en la economía sino en el campo de las ciencias sociales.

Según Boulding la economía humana y otros comportamientos son parte de un gran sistema interconectado. Por ello es necesario entender la eco-dinámica del sistema general, y la sociedad global. A pesar de tener una amplia obra científica su artículo publicado en 1954 llamado “la teoría general de sistemas y la estructura científica” es el que más se recuerda de su obra, ya que fue aquí donde propuso su célebre jerarquización de sistemas que se usa hasta nuestros días:

Nivel 1. Sistema Estático: Son sistemas que nos cambian. Ejemplo. una mesa. Tiene partes que la integran, pero no evolucionan y solo se puede llenar de polvo, pero su estructura básica no cambia.

Nivel 2. Mecánico o de relojería: el ejemplo clásico es un reloj.

Nivel 3. Cibernético: el ejemplo más claro es el calentador de gas con un termostato de una casa. Aunque responde a una sola variable frío o calor, este sistema tienen una independencia de decisión y decido cuando encenderse o pagarse dependiendo de la temperatura del agua a la que sea programado.

Nivel 4. Sistema que se auto reproducen: En la historia del mundo la vida comenzó 1,000 millones de años después de la creación de la tierra estimada en 4,600 millones de años . El ejemplo más claro es una célula. Aunque parece a un solo nivel de distancia de los sistemas cibernéticos existen miles de millones de los de evolución entre uno y otro sistema y el poder hacer copia de sí mismo. Esta propiedad es lo Edgar Moran ha llamado el *Principio Hologramático*.

Nivel 5. Asociación genética: son sistemas donde cada sistema tienen una huella genética propia que no se parece a ningún otra. El ejemplo más claro son las plantas.

Nivel 6. Sistemas conscientes: Esos sistemas tiene conciencia de sí mismos, aunque sea de un modo elemental. El ejemplo más claro son los animales.

Nivel 7. El homo sapiens: Además de todas las características de los animales, el hombre moderno posee sistemas de auto-conciencia (pasado y por-

venir) y la capacidad de interpretar símbolos y comprender abstracciones como, la música, las matemáticas y la poesía .

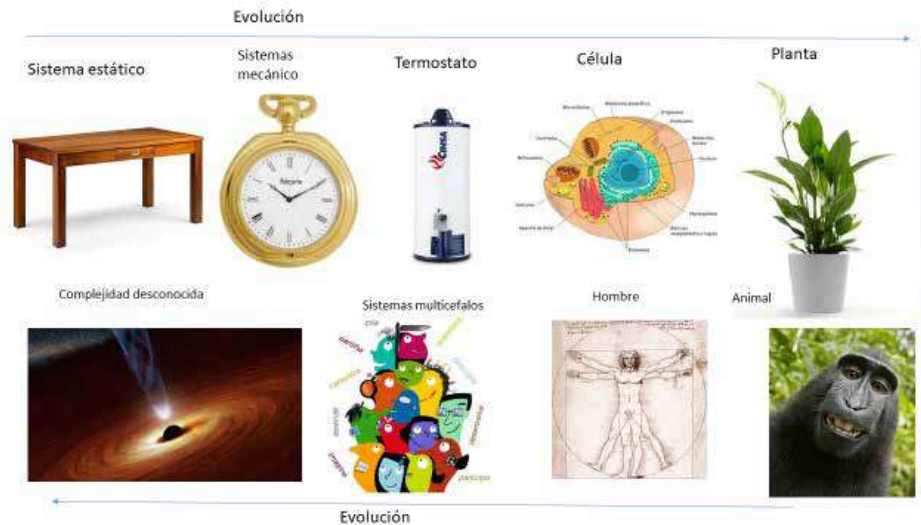
Nivel 8. Organizaciones sociales o sistemas multicefalos: son de mayor complejidad y van desde una organización, a una comunidad o un municipio o un estado. Son agrupaciones humanas donde la complejidad es creciente.

Nivel 9. Sistemas trascendentes o de complejidad desconocida: son sistemas que se adivinan, pero cuya complejidad verdadera se desconoce. Ejemplo de ello son los hoyos negros, la materia oscura o Dios.

La propuesta de Boulding aunque fácil de recordar y tentadora, resulta muy cuestionable a la luz de los hallazgos recientes de la Genética que ha probado entre otras cosas que un hongo es muy distinto de una planta, -es más bien una animal que no camina-, y que los seres humanos que nos creemos tan únicos no somos más que unos eucariotas igual que todos los animales. De hecho el ADN de los homínidos es 99% similar a un chimpancé, 98 % a de un orangután y un bonobo y 97% al de un gorila.

La Figura 10 muestra la tipología y la evolución de sistemas.

Figura 1. Evolución de Sistemas



Fuente: Elaboración propia a partir de (Boulding K. , 1977)

LOS MODELOS ESTOCÁSTICOS DE CONTAGIO (ANATOL RAPOPORT)

Anatol Rapoport es otro ejemplo de lo que un apasionado de la complejidad. Fue psicólogo y matemático y como muchos de los precursores de los sistemas complejos también era judío de origen ruso. Sus aportaciones fueron a la biología apoyada en matemáticas, al modelo de la interacción social basado en matemáticas y a su original modelo estocástico de contagio que describe asociaciones entre un problema complejo que tiene diferentes implicaciones.

En su propuesta original usando en la epidemiología hay mapas con eventos distintas probabilidad de ocurrencia. Estos mapas de relaciones ilustran causas múltiples que ofrecen explicaciones. La Figura 11 ilustra un ejemplo sobre las causas de la violencia en el Estado de Guanajuato que desde el año 2015 al 2020 periodo en el que paso a ser el estado más peligroso e inseguro para México. La importancia económica y el impresionante desarrollo industrial de este estado ubicado en el corazón histórico de la República mexicana, vino aparejado de acciones de un grupo criminal llamado Santa Rosa de Lima dirigido por un sanguinario líder que se hacía llamar el Marro y que sostuvo una lucha con otro cartel criminal llamado Jalisco Nueva Generación. Estos grupos de delincuentes iniciaron su actividad criminal robando impunemente gasolina a la empresa Petrolera Pemex y de allí saltaron al tráfico de droga, a la extorsión y al secuestro y al asesinato de miles de personas. La explicación de la demencial violencia puede ser resumida en cuatro grandes causas: Debilidad institucional, rotura del tejido social y ausencia del estado de derecho y ausencia de una estrategia de seguridad federal. Este grave problema puede ser resumido en un mapa de estocástico de contagio (criminal) que he diseñado a manera de ejemplo.

Figura 11. Mapas Estocásticos de Contagio Aplicado a la Violencia en México



Fuente : Elaboración propia

Las aportaciones de Rapoport por su formación tan transdisciplinaria, le dio una nueva luz en los estudios de conflicto psicológico, desarme nuclear y la política internacional.

Dentro de sus aportaciones para la teoría de juegos fue pionero en el modelado del parasitismo y la simbiosis, la investigación de la teoría cibernética.

Anatol Rapoport ayudo a aplicar la teoría de juegos a las estrategias de negociación de la paz. Predijo con acierto que los Estados Unidos perdería la guerra de Vietnam y lo convirtió en un pensador incomodo el cual era estrechamente vigilado por su origen ruso, lo cual lo motivó a dejar Estados Unidos iluminando con su trabajo a las universidades canadienses.

Usando el dilema del prisionero iterado de Robert Axelrod contribuyó a la paz mundial con sus modelos teóricos de juegos de resolución de conflictos psicológicos. Además de ser un científico sublime dueño de una cultura deslumbrante y fue un ser humano excepcional.

En su abrumadora obra científica escribió más de 300 artículos y 13 libros. Dentro de sus libros más relevantes destacan los siguientes:

En teoría de juegos

1. 1969, *Estrategia y Conciencia*. Nueva York: Shocken Books.

En análisis de conflicto

2. 1989. *Los Orígenes de la Violencia: enfoques para el estudio de los conflictos*: New York; Paragon House.

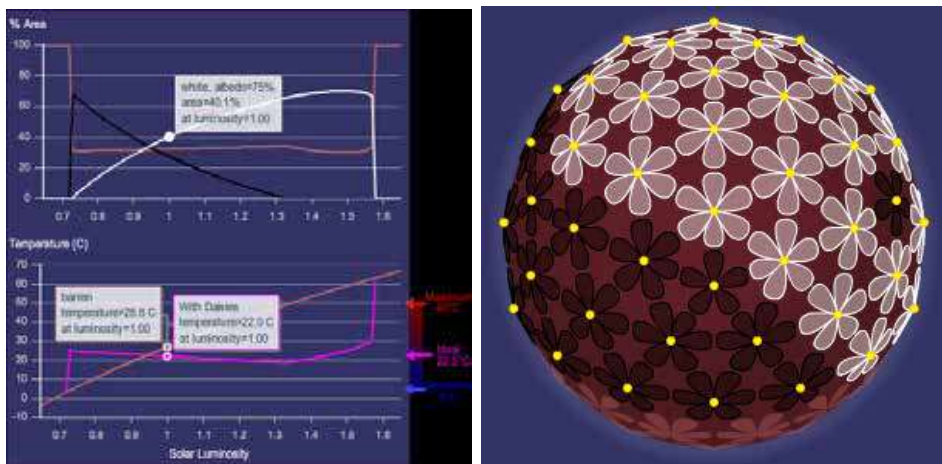
LA TEORÍA DE GAIA (JAMES LOVELOCK)

Partiendo del concepto griego de la Tierra llamada Gaia, James Lovelock propuso una teoría que ahora parece un banalidad y es que el planeta está vivo y es un organismo complejo. Fue contratado por la Nasa para definir las condiciones que hacía que en la tierra hubiera vida a diferencia de Marte y Venus y urgiéndolo a definir las condiciones esenciales para la vida. Como resultado de sus investigaciones propuso una simulación que se volvió muy popular llamada el *Mundo de Margaritas (Daisy World)*.

En su simulación hay un mundo poblado solo por dos especies; Margaritas blancas que reflejan el calor del sol al ambiente y proliferan en un mundo cálido. Y las margaritas negras que absorben calor del sol y se desarrollan con bajas temperaturas. Los aumentos o disminuciones del calor del sol propician que haya un aumento de unas u otras. Si las margaritas se extinguen, el mundo entonces pierde su capacidad homeostática y depende solo de la luz del sol.

La simulación se ilustra en la figura 12.

Figura 12. Simulación del Mundo de Margaritas de Lovelock.



Fuente: (Daisy Ball, 2020)

En la simulación se observa que las margaritas controlan la temperatura del planeta cerca del equilibrio homeostático (línea rosa). A medida que el planeta se enfría aumenta la luminosidad. Sin margaritas, la temperatura del planeta pierde su capacidad de regulación como se muestra en la línea blanca.

Aunque la teoría Gaia fue muy criticada, Lovelock consiguió que se aceptara que la Tierra una red de especies que conviven y se necesitan para que exista la biósfera. Cuando a su modelo se le añaden especies como conejos y zorros la homeostasis se hace más robusta. Esto dio evidencia de la importancia que tiene la biodiversidad donde cada especie hace su parte en el equilibrio de la vida en la Tierra.

Según Lovelock, nuestro planeta es un ser inteligente autorreferente relacionado por cadenas tróficas auto poéticas que le permiten mantener su homeostasis (Lovelock, 2007).

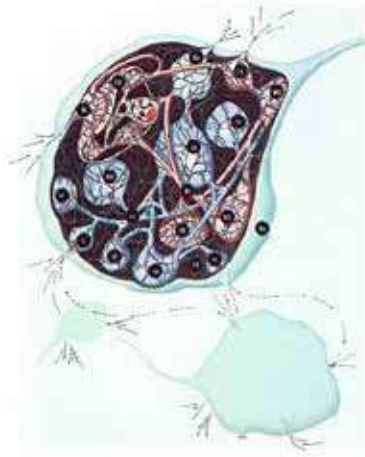
LA TEORÍA DE LOS SISTEMAS VIVOS (JAMES GRIER MILLER)

En su libro *Living Systems* James Grier Miller, creó un enfoque unificado para las ciencias biológicas, psicológicas y sociales en lucida una recopilación y síntesis que él consideraba como la piedra angular de su carrera. Según Grier todo sistema viviente tiene veinte subsistemas fundamentales que el llamo “ críticos”. Arriba d ellos sistemas vivos esta los sistemas ecológicos, planetarios y las galaxias. Por debajo de los sistemas vivos esta el espacio, el tiempo, la energía, y la entropía (Miller, 1978).

Los sistemas vivos son abiertos, auto organizados y se adaptan a su entorno. Esta interacción genera un intercambio de información que consume recursos. Según Grier Miller tanto una célula como un grupo de naciones , todos tiene veinte subsistemas esenciales que les permiten sobrevivir y continuar la propagación de su especie más allá de una sola generación (Daviding, 2018).

En el modelo de Miller que se describe en la figura 13 hay tres tipos de subsistemas importantes en un sistema vivo: Subsistema materia- energía, Subsistemas que procesan información y subsistemas que procesan tanto materia energía como información.

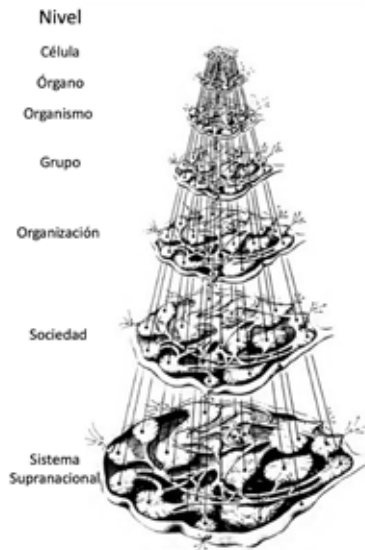
Figura 13. Subsistemas necesarios para la vida según Miller



Fuente: (Daviding, 2018)

Para completar su propuesta según Miller todos los sistemas vivos tienen ocho (8) niveles de organización y complejidad, que van, como se indicó anteriormente, desde la simple célula a las organizaciones supranacionales como la Unión Europea. Ver figura 14.

Figura 14. Nivel de Complejidad Biológica de Grieg Miller



Fuente: (Daviding, 2018)

MODELO DE SISTEMAS VIABLES (ANTHONY STAFFORD BEER)

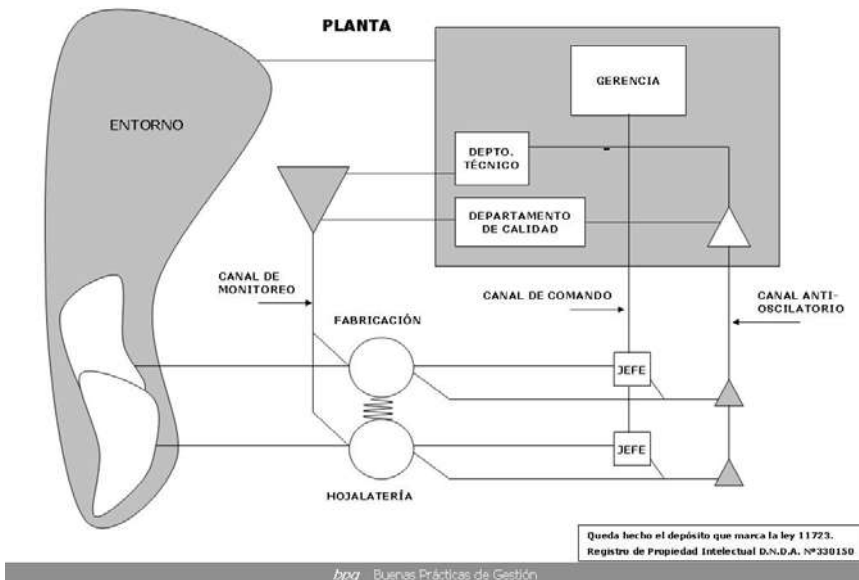
Stafford Beer es otro de los precursores más interesantes en la teoría de los sistemas vinculados a la cibernética. Estimulado por las ideas de Wiener, McCullochy y Ashby propuso un sistema aplicable a la gestión organizacional ya que él a diferencia de otros científicos, era un exitoso consultor de empresas y por lo tanto sus modelos tuvieron mucho éxito para los practicantes de la administración de negocios.

Al relacionar la neuro cibernética y los modelos matemáticos del sistema nervioso, concibió su *Viable System Model* (Modelo de los Sistemas Viable. Desarrolló también la técnica de integración de equipos asociado al *Modelo de los Sistemas Viables*. Stafford Beer, es el creador “Modelo de Sistema Viable” que permite representar la estructura, las actividades, interrelaciones y flujos de información.

El método del sistema viable tiene cinco fases que se ilustran en la Figura 15 y consta de las siguientes etapas: (Stafford-Beer, 1959).

1. Establecer la identidad organizacional
2. Modelar los límites organizacionales del sistema
3. Modelar los niveles estructurales, identificando las actividades tecnológicas de las cuales se ocupa la organización.
4. Estudiar la autonomía y la regulación
5. Estudiar y diseñar de los mecanismos de control

Figura 15. Sistema Viable aplicado Organización de Stafford Beer



Fuente: (Buenas practicas de Gestion, 2016)

Las cinco funciones esenciales de un sistema viable son: Puesta en práctica, Coordinación, Control, Inteligencia y Política. El modelo de sistema viable tuvo un gran impacto en la cibernética y en la Administración.

METODOLOGÍA DE SISTEMAS SUAVES (PETER CHEKLAND)

La *Metodología de Sistemas Suaves* (SSM por sus siglas en inglés) a pesar de los años transcurrido sigue siendo popular entre los profesores de escuelas de ciencias sociales y que al ser una técnica cualitativa recomendable para comprender fenómenos sociales, políticos o económicos. Este modelo también fue el primero que aportó la diferenciación entre una división entre sistemas que en lo particular me desagradan. Sistemas “duros” para ciencias de la naturaleza y la tecnología y los “Sistemas Suaves” para los problemas sociales requieren mayores grados de complejidad para ser descritos y solucionados.

No deja de ser paradójico que Peter Chekland que era un ingeniero de software donde se suelen requerir algoritmos estructurados y ordenados y por lo tanto era un “duro” propusiera esta metodología de sistemas suaves, sin embargo este or-

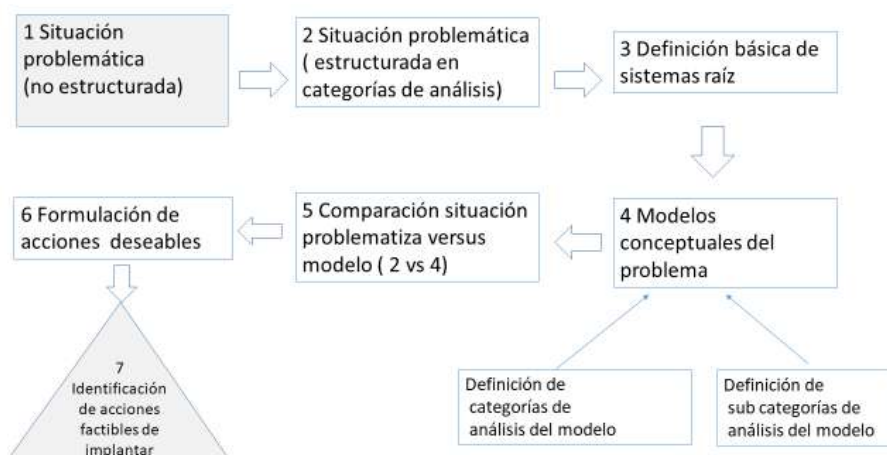
den y la claridad de la metodología es la impronta que le ha permitido trascender el tiempo y seguir siendo usada.

Proceso de sistemas suaves: Según (Chekland, 2002)

Se distinguen las siguientes fases:

1. Identificar un problema no estructurado que requiere solución
2. Describir el problema con “figuras enriquecidas”. Lo cual implica aportar datos relevantes para comprender dicho problema.
3. Definir los involucrados clave: pueden ser clientes, empleados, procesos. Checkland destaca que es fundamental identificar al “dueño del proceso”. Quien tiene “el poder de veto”. Para iniciar o incluso cerrar el sistema.
4. Identificar las restricciones del contexto (político, legal o éticos). La figura 14 ilustra estos pasos.

Figura 16. El modelo de Sistemas Suaves



Fuente: Elaboración propia a partir de (Chekland, 2002)

La metodología es muy interesante y ha sobrevivido al tiempo porque anticipa los modelos de planeación estratégica, (incluso es más sofisticada y recomendable que los FODAS, los cuales son fáciles de usar pero muy desordenados y no para mi es una lluvia de ocurrencias que critico ampliamente en libro (Dirección Estratégica 2021). El método de Checkland es muy superior porque caracteriza de

manera ordenada la situación problemática e identificar sus variables de mayor impacto proponen acciones de mejora factibles.

Ventajas del uso de Sistemas Suaves

Recomendable en problemas sociales o administrativos donde hay multitud de agentes y relaciones. Las soluciones que aporta no son números o datos sino acciones Suaves .

La descripción de los involucrados claves y la identificación de la persona o actores con poder de veto le da una profundidad y abona a la comprensión de las variables e intereses que las soluciones deben considerar,

Desventajas

Que los participantes entiendan el método de análisis y sigan los pasos de manera ordenada. Cuando los ejecutivos están muy orientados a la acción y exigen datos de control esto hace imposible su adopción. Al simplificar demasiado la realidad, puede parecer *demasiado teórico*.

Aunque admito que no es una de mis técnicas favoritas, el método de Checkland aún se le ve en tesis de maestría e incluso de doctorado para entender problemas sociales y de gestión ya propone aproximaciones sistemáticas a problemas asistemáticos. Dicho de manera poética la metodología de Checkland permite navegar entre la confusión y ofrece una brújula para saber dónde nos encontramos.

En sistemas complejos, sin embargo, el método carece de utilidad ya que es una estrategia de reduccionismo que aísla a las categorías para observar su impacto. En los problemas complejos esto no es válido ya que existen efectos conjuntos y emergentes de comportamiento colectivo las cuales evolucionan y mutan en el tiempo. Seguramente algunos lectores pensarán, "para que lo pone en el libro si luego dice que no vale para estudiar sistemas complejos". Su inclusión así como las técnicas y modelos de comprensión de sistemas de este primer capítulo es el despegue a las técnicas de análisis de sistemas complejos que comenzaremos a explicar en el capítulo 2.

EL SISTEMA SOCIAL DE (NIKLAS LUHMANN)

Niklas Luhmann es el sociólogo alemán después de Max Weber. Dotado de una increíble capacidad analítica que es heredera de la escuela alemana de filosofía. Luhmann propuso distintos conceptos en el campo de la comprensión de los sistemas: 1) la distinción entre sistema y contexto social. 2) la relevancia y el poder de la comunicación, 3) su comprensible modelo de sistema social, 4) tres conceptos para la comprensión del un sistema social: acoplamiento estructural, clausura operativa y los acoplamientos flexibles.

La diferencia del sistema con el contexto. El concepto de sistema abierto que es sagrado entre los expertos en sistemas, asume un diálogo de sistema con su contexto. Luhmann afirma esto es falso. Cualquier sistema necesita de su entorno y unos límites claros para poder identificarse y distinguirse. El sistema y el entorno son insolubles. Nacen juntos y necesitan uno del otro para existir. Pero deben diferenciarse con claridad para existir.

Su teoría social es también bastante original y distinta a otras teorías que explican a la sociedad, que asumen que el ser humano es la “unidad básica” en la construcción social. Para Luhmann esto es erróneo ya que nos son los individuos sino las comunicaciones lo que reproducen y definen los sistemas sociales.

Por lo que respecta a la *comunicación* Luhmann también pinta una raya. A diferencia de los postulados dominantes hasta entonces donde la comunicación es un intercambio de información entre comunicador y receptor. Según Luhmann en los su sistemas sociales como económico se comunica con el dinero., el sistema judicial con sentencias que generan jurisprudencia y luego se vuelven leyes. En la política el poder se asume mediante la asignación del presupuesto. Si un presidente dice primero los pobres, hay que mirar cuanto se gasta en los pobres para probar sus dichos y ver que el dinero contribuya a la evolución social y no sea una forma de clientelismo político cuando los pobres solo son importantes si hay elecciones. La comunicación asume códigos binarios que no sen difícil de leer. Legal o ilegal, gobierno u oposición. Poder/ presupuesto ejercido.

Sistema Social de Luhmann

En la sociedad según Luhmann hay tres grandes actores: El sistema político, el sistema jurídico y el sistema económico. El sistema político está regulado por una constitución que le otorga la legitimidad para el ejercicio del poder.. El que gana

el gobierno lo gana todo y viceversa⁴. El poder político en pocas palabras supone ganar el poder y decidir dónde va el dinero de los contribuyentes.

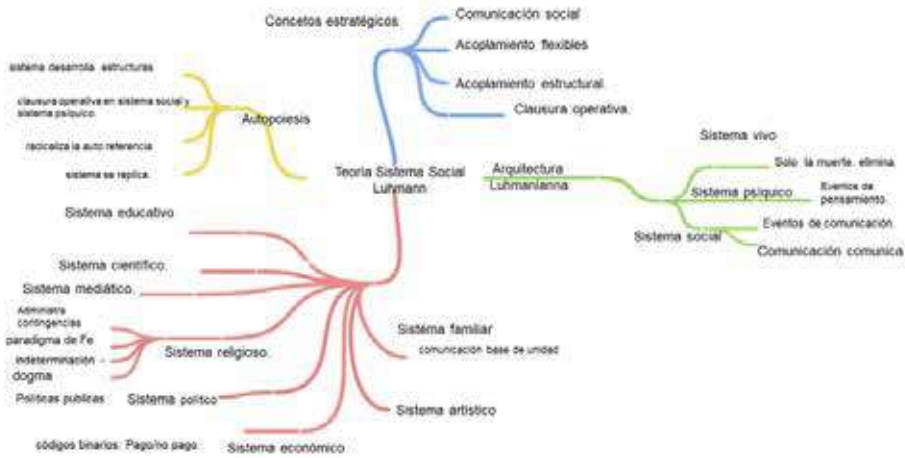
Este poder está asociado a un sistema jurídico que abrevando de la constitución como gran marco legal genera las leyes que define que es legal y que es ilegal. El marco jurídico organiza el sistema económico y delimita los incentivos (pagos) y desincentivos (no pago) en función de conductas de los agentes económicos que determinan el alcance y limitaciones de la propiedad privada y estructuran los contratos que rigen las relaciones entre los agentes.

El sistema político a su vez se relaciona con el sistema económico al ejercer su poder mediante políticas públicas e impuestos que determina el ambiente en el que operaran los agentes. En todas las democracias occidentales se observa este modelo con ciertos variantes asociados a los plazos en que son elegidos los políticos que se volverán gobierno. Los actores económicos y los grandes inversores internacionales hacen una espera que suele durar unos meses o un año, antes de decir donde enviarán su dinero en espera de las señales que da el nuevo gobierno que ha ganado las elecciones. La globalización ha añadido un toque de flexibilidad, ya que los capitales han dejado de ser “nacionales”, el dinero es dinero y se va a donde existan mejores condiciones para ganar más dinero.

El modelo completo de Luhmann se ilustra en la Figura 17 usando los diagramas de contagio.

4. Esta idea de Luhmann es euro centrista y su modelo está concebido para sistema parlamentarios, porque en las esto no necesariamente pasa en los sistemas presidenciales. Donde, aunque gane un partido el poder ejecutivo, puede estar en minoría en el congreso. En los sistemas parlamentarios europeos lo que menciona Luhmann si es cierto.

Figura 17. Modelo de Sociedad de Luhmann



Fuente: Elaboración propia a partir de (Luhmann, 1994)

Acoplamiento Estructural

Los sistemas se adaptan a su contexto en relaciones que no son necesariamente causales. En ocasiones hay irritaciones o pequeños desacoplamientos por la confrontación de los eventos de los actores del sistema social. Sin embargo, el sistema social se adapta a estas irritaciones de una manera instintiva y establece acoplamientos constantes de su estructura.

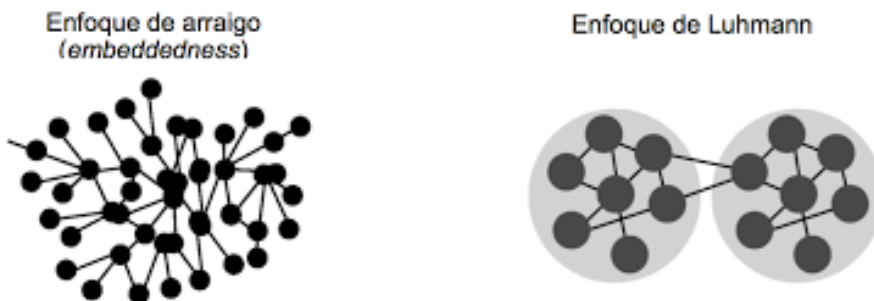
Clausura Operativa

Este es uno de los conceptos más originales de Luhmann. Según él para comprender un sistema complejo hay que hacer una *clausura operacional* que obligue al sistema depender de su auto organización. Un sistema debe ser clausurado para poder ser comprendido en su propio contexto y circunstancia. Su propuesta es reducir la complejidad aislando al sistema, mediante la reducción de la realidad. Esto es nada menos lo que suelen hacer los físicos para entender sistemas inconmensurables como el universo, las galaxias o los hoyos negros.

En la Figura 18 (Opazo & Rodríguez, 2017) ilustran la idea de Luhmann según la cual los límites de las organizaciones no pueden darse por sentados. El enfoque de

arraigo en realidad una idea de la “organización sin límites” que sólo resulta valida en el enfoque analítico de redes de escala libre, lo cual explicaré con más detalle en el capítulo 4.

Figura 18. Clausura Operativa



Fuente: (Opazo & Rodriguez, 2017)

Acoplamientos Flexibles

Según Luhmann las formas que dibujan los sistemas están conformadas por “acoplamientos rígidos” en lugar de “acoplamientos flexibles”. Una huella en arena pacer rígida, pero está hecha con la fragilidad de la arena que es suave y maleable. Luhmann como ejemplo a las letras que son el medio de las palabras, las cuales a su vez son el medio de las oraciones, construyen y transmiten ideas. Las palabras, sin embargo, por si solas no hacen poemas ni generan automáticamente ideas, solo son acoplamientos flexibles de algo más grande que se construye con ellas (Arriaga, 2003).

En resumen el sistema social de Luhmann es una idea sencilla, original y universal que puede ser aplicada no solo a la sociedad sino a las organizaciones e instituciones (Luhmann, 1998: 44).

Dentro de la bibliografía en español de Luhmann hay más de 30 libros, sin embargo, los imprescindibles son dos: Luhmann, N. (1995). Poder, Barcelona: Anthropos-UIA y Luhmann, N. y Luhmann, N., Mèlich, J. C., & Fortea, C. (1996). Teoría de la sociedad y pedagogía.

MODELOS DE CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS

Este apartado es un préstamo de mi libro Efectos de la Teoría de la Gestión Ambiental en México. Este libro aunque fue prologado por el amado premio nobel Mario Molina, tuvo sólo una edición en la editorial del IPN, por su pertinencia en la amplitud de enfoque de este libro hago una larga auto cita.

Hay varios autores que han propuesto sistemas para clasificar la complejidad (Beer 1967,) (Glouberman & Zimmerman, 2002) (Battram, 1998) (Battram 1998) y (Allen 1999, Senge 1992 y Lucas, 2002).

“..La diferencia básica de los modelos está en su enfoque y las categorías de análisis que proponen. Para (Beer 1967) el propósito de clasificar está en entender la estructura del sistema y sus interconexiones. Este autor distingue entre sistemas deterministas y estocásticos. Y a partir de ellos, diferencia, si son: simples complejos o extremadamente complejos.

Los sistemas deterministas simples normalmente tienen conductas predecibles y pocos componentes, los sistemas deterministas complejos muchos componentes e interconexiones. Los sistemas excesivamente complejos tienen el llamado caos determinista. Es decir, son sistemas que presentan un orden oculto que solo puede ser percibido con horizontes de tiempo muy grandes. Un ejemplo de ello (que es objeto de polémicas y controversias), está en los procesos de extinciones de especies.

Según (Lewin 1998) a lo largo de la historia de la vida en la tierra que tiene más de 3,800 millones de años y luego de más de 500 millones de años donde no hubo vida. Se da inicio a la aparición de la vida en la tierra para lo cual hay distintas teorías que van desde el creacionismo (Dios hizo el cielo y todas las cosas), al experimento de Stanley Miller y Urey mencionado en el capítulo siguiente. En el periodo cámbrico se genera un espectacular aumento de la diversidad que se ha visto interrumpida por periódicos colapsos mayores y menores que extinguieron el 99.9% de las especies que una vez habitaron la tierra. Pese a la insignificancia estadística, que parece junto con las demás especies que hoy existen, el último período que dura ya unos 600 millones de años, es el que ha generado los modos de vida actuales que la revista Nature calcula en 8.7 millones⁵ (Nature, 2011).

5. Aunque son datos de hace 9 años según Nature hay 8,7 millones de especies eucariotas en nuestro planeta, haciendo uso de ellos códigos genéticos que redujo “mejores conjeturas”, que oscilaban entre 3 millones y 100 millones. Esto supone que el 86% de las especies terrestres y el 91% de las marinas permanecen sin descubrir.

Según Dave – Sepkoski a partir de estudios en los grandes cráteres y los registros fósiles. Las colisiones de asteroides gigantes con la tierra ocurren cada 26 millones de año. (Lewin 1998 p. 96). La quinta extinción masiva ocurrió cuando un meteorito del tamaño de New York se estrelló en Chicxulub (México) hace 65 millones de años.

Regresando a la clasificación de Beer 1967, existen también tres tipos de complejidad estocástica: la Simple que es predecible y tiene pocos componentes e interrelaciones. La compleja que es altamente elaborada interconectada y es impredecible y, la excesivamente compleja que no puede ser descrita al detalle.

Para Glouberman & Zimmerman 2002, el fin del estudio de la complejidad es un problema de comprensión de su estructura y sus productos. Ellos distinguen tres tipos de complejidad: la simple donde los problemas son de tipo técnico con un alto grado de certidumbre en sus resultados, la complicada que es en realidad una colección de problemas simples con poca interdependencia y pese a ello hay una alta certidumbre en sus resultados, y finalmente la compleja que implica a problemas tanto simples como complejos que no son reducibles y cuyos resultados son inciertos.

Para (Batram 1998) el objetivo del modelo es comprender la conducta. Distingue cuatro tipos de complejidad: la Estática que puede tener valores mixtos pero que no cambia. El Orden que tiene patrones repetitivos que es posible identificar. La compleja que se encuentra en el límite del caos y una fase de transición entre el orden y el caos. Y la complejidad caótica que tiene conductas aperiódicas.

Finalmente (Allen 1999, Senge 1992, y Lucas 2002) dicen que la finalidad del modelo comprender el sistema a través de su estructura y conducta. Este autor distingue cuatro tipos de complejidad: La estática que cambia con el paso del tiempo pero que se mantiene en equilibrio y es posible medir con indicadores y estándares, la dinámica que supone espacios de tiempos grandes donde se pueden apreciar cambios cíclicos pero donde no hay micro diversidad, la implícita (Evolving) que tiene sistemas implícitos donde el cambio es permanente pero se abre y cierra, y los sistemas auto organizados que son sistemas que co evolucionan con el medio ambiente y deben ser descritos en relación al medio ambiente que los contiene...”(Rivas- Tovar L.A (2009).

Un resumen de los cuatro modelos aparece en el cuadro 1.

Cuadro 1. Modelos de Clasificación de la Complejidad

Autor	Beer 1967	Glouberman & Zimmerman 2002	Battram 1998	Allen, 1999 Senge, 1992 Lucas, 2002	
Fin del modelo	Entender la estructura del sistema y sus interconexiones	Entender la estructura y los resultados	Entender la conducta	Entender el sistema los modelos estructurales y la conducta	
Categorías de análisis	Determinista	Estocástico			
	Simple •Pocos componentes •Conducta predecible	Simple Pocos componentes	Simple •Problemas están basados en cuestiones técnicas •Alto grado de certidumbre en resultados	Estático •Estado inamovible •Valores mixtos	
	Complejo •Componentes e interrelaciones complicados	Complejo •Altamente elaborado e interrelacionado impredecible	Complicado •Colección de problemas simples con poca interdependencia •Alto grado de certidumbre en resultados	Orden •Patrones repetibles	Dinámico •Tiempo considerable •El cambio es cíclico •No hay micro diversidad
				Complejidad •Limite del caos Fase de transición entre orden y caos	Envolvente •Sistemas envolventes •Cambio en sí mismo •Cambio abierto-cerrado
Excesivamente complejo •Caos determinista	Excesivamente complejo •No puede ser descrito o precisado a detalle	Complejo •Incluye problemas simple y complicados •No reducible •Resultados inciertos	Caos •Conducta aperiódica con poca estructura en el espacio	Auto organizado •Sistemas que co evolucionan con el medio ambiente •Debe ser descrito como relacionado con el ambiente	
Fuente: Elaboración propia a partir de Mena H. 2003					

Fuente: Elaboración propia a partir de (Mena, 2003)

Libros clásicos recomendados sobre la Teoría General de los Sistemas y su uso en Ciencias Sociales

Los libros que parecen en el cuadro 1 son algunos de los autores los que aportaron los principales conceptos descritos y explicados en este capítulo, se recomienda leerlos en el idioma original

Libro /artículo	Autor	Descripción de la obra
	<p>Von Bertalanffy, L. (1972). The history and status of general systems theory. Academy of manage- ment journal, 15(4), 407-426.</p>	<p>Se presenta la historia de la teoría general de sistemas. La cual en la visión del autor del concepto tiene tres aspectos principales:</p> <p>El primero llamado sistema ciencia que se destaca la universalidad de la aplicable a distintos campos de la ciencia, El segundo llamado sistema tecnológico referido a las relaciones de la tecnología con los problemas modernos y el tercer aspecto llamado sistemas filosóficos referido lo trascendente y la utilidad la teoría para dar ofrecer visión del mundo (Von Bertalanffy, 1972)</p>
	<p>Boulding, K. E. (1956). General systems theory—the skeleton of science. <i>Management science</i>, 2(3), 197-208.</p>	<p><i>El valor de la Teoría General de Sistemas es que no pretende ser una teoría del todo que remplace a todas las disciplinas sin embargo su capacidad de abstracción permite una generalidad que resulta comprensible . En este libro se propone la jerarquía de sistemas</i> (Boulding K. E., 1956)</p>
	<p>Peter Checkland, Jim Schole (2002). México: Limusa</p>	<p>La metodología desarrollada por Peter Ckekland describe aplicaciones a la industria, los sistemas de salud, el marketing y el cambio organizacional.</p>

Capítulo 2

Segundo Tributario: Sistemas Dinámicos

Los sistemas dinámicos están asociados a la vida y la evolución, y han sido teorizado de manera robusta en el campo de las matemáticas y todos somos capaces de comprenderlos porque nosotros mismos en nuestro cuerpo experimentamos el cambio, el crecimiento, la evolución y la decadencia de nuestros vitales. Nuestra es tan solo un suspiro. 100 años a lo más y nos volvemos de nuevo *polvo de estrellas*.

Los sistemas dinámicos son un campo de estudio para muchas ciencias físicas, ingeniería, economía y los sistemas organizativos, empresariales y sociales. Un sistema dinámico para ser calificado como tal debe reunir tres características: 1) Estar integrado por un conjunto de elementos que interactúan, 2) condicionado por fuerzas endógenas y exógenas y 3) su comportamiento complejo requiere diagramas causales o con simuladores.

La interacción con el entorno hace que un sistema se adapte permanentemente. Por su propia dinámica suele ser imposible hacerlo en sistemas abiertos, los modelos suelen predecir, con distintos grados de precisión la situación a futuro del sistema, mediante *puntos estables en el tiempo*. A estos puntos se le llama *atractores*, y denotan arranques súbditos del sistema desde una posición inicial que con el tiempo convergerá hacia un punto fijo y recobrará un nuevo equilibrio que difiere de la condición inicial ya que se trata de *un nuevo orden*. Esta característica de orden -caos – orden, se observa en todos los sistemas dinámico.

Los sistemas dinámicos evolucionan hasta su muerte. Una estrella como nuestro sol vive unos 10,000 millones de años, pero si es muy grande por ejemplo unas 20 veces mayor vivirá solo 10 millones de años. Los sistemas dinámicos evolucionan con trayectos divergentes. Los matemáticos han definido dos tipos de sistemas dinámicos. Los discretos en el tiempo, que pueden ser observados en pequeños lapsos de tiempo, (una hora, un día, un año) y se expresan en números enteros. Y los continuos que cambian con el tiempo y se expresan con ecuaciones diferenciales. Donde una variable x cambia en el tiempo t .

Los sistemas dinámicos permiten responder preguntas como: ¿Cuál es el estado de un sistema en el largo plazo?, ¿Cuánto varía un sistema un sistema, si se modifican ligeramente las condiciones iniciales? ¿En los sistemas dinámicos existen

auroras de estabilidad? ¿Hay un orden oculto en el caos? Si es así, ¿Cuál es el tipo de atractor extraño que presenta?.

Como hemos en el modelo LART de evolución de sistemas , estos pueden ser lineales (simples o complicados) y *no lineales* (complejos o caóticos). En este capítulo solo nos ocuparemos de los no lineales.

LA GEOMETRÍA FRACTAL (BENOIT MANDELBROT)

Benoit Mandelbrot fue otro de los científicos europeos que emigró a Estados Unidos por sus orígenes judíos. Su propuesta de geometría fractal iluminó muchas ciencias sin embargo, él se consideraba así mismo como un matemático experimental.

Él fue el primer científico que describió con claridad la manera que se crea un fractal mediante un proceso de cuatro pasos: A partir de un número complejo, que se multiplica por sí mismo, se suma el número inicial; luego se le multiplica por sí mismo, se le suma de nuevo el número el inicial... y así sucesivamente. A la reiteración de multiplicaciones y sumas le llamo " iteración" y aunque al principio parece errática va definiendo una forma no lineal conforme las iteraciones van sucediéndose.

Aunque los fractales están por todas partes, en las grecas de un árbol, las formas de las hojas, en los nidos de los pájaros. Hasta antes de Mandelbrot nadie los había explicado matemáticamente. Un problema que enfrentó Mandelbrot fue que en su época las computadoras eran muy elementales y por lo tanto no era posible representar de forma fidedigna un fractal con las iteraciones que generaba. En sus propias palabras... " *es como si la bella durmiente, esperara durante años, a que un apuesto computador la despertara .*" (Mandelbrot, 1982). En la figura1 se ilustra dos ejemplos de fractales.

Figura 1. Ejemplo de fractales en la naturaleza



Fuente: <http://www.google.com.mx/url>.

Mandelbrot no entendía cómo era posible que pese al avance que había tenido otras ciencias, en todas las escuelas se siguiera enseñando la geometría del sabio Euclides quién había vivido hace 2,000 años. El mundo no es redondo, las nubes no son óvalos, los ríos no son líneas rectas afirmaba. Todo el universo está formado por estructuras irregulares así que la geometría clásica sencillamente no servía para entender y caracterizar la naturaleza y la vida. Esto que, evidente para cualquier observador no educado en los paradigmas de la geometría clásica griega, fue una verdadera revolución y es uno de los ejes conceptuales más sólidos de la complejidad.

La geometría fractal no existen distinciones entre una conceptualización matemática y un objeto natural. Por ello no resulta exagerado afirmar que Mandelbrot contribuyó con su trabajo a comprender la realidad que nos había ocultado la geometría euclidiana tradicional.

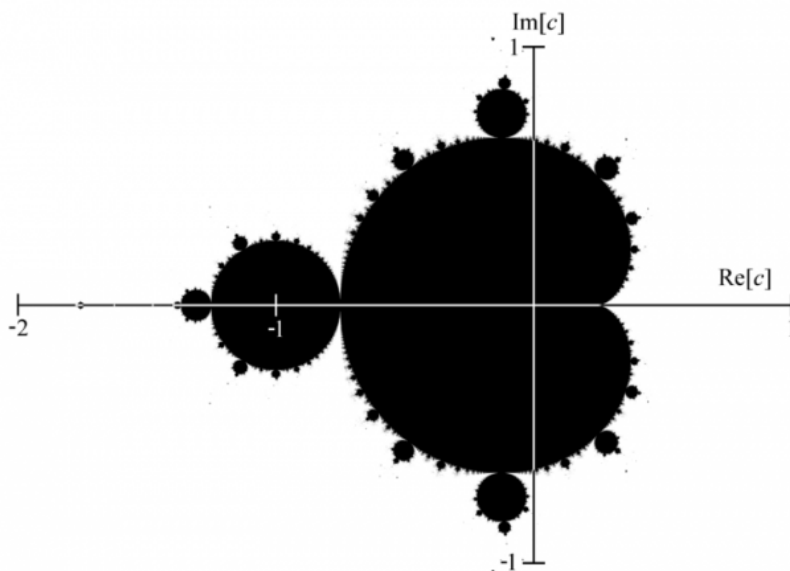
Sólo hasta que la empresa IBM puso a disposición de Mandelbrot una computadora de nombre VAX, fue posible elaborar un fractal caracterizado como un sistema dinámico en un campo complejo. La grafica es muy famosa y se ilustra en la figura 5.

El fractal de Mandelbrot usa una notación “c” para cualquier número , con una sucesión de distintos valores sin embargo, en el ejemplo se le dio a la variable $C=1$.

$$\begin{cases} z_0 & = & 0 & \text{(término inicial)} \\ z_{n+1} & = & z_n^2 + c & \text{(relación de inducción)} \end{cases}$$

En la figura 5 ilustra el famoso fractal de Mandelbrot cuando $C=1$.

Figura 5. Fractal de Mandelbrot para el valor $C=1$



Fuente: (Xataca Ciencia, 2012)

Tipos de Fractales

Según (Barallo & Sanchez, 2001), existen seis tipos de fractales: 1) los asociados a la geometría euclidiana, 2) los sistemas con funciones iterativas, 3) los atractores extraños, 4) los fractales de plasma, 5) los sistemas Lindenmayer y 6) las iteraciones con polinomios complejos.

1) Asociados a la Geometría Tradicional

Se suelen elaborar mediante iteraciones de formas geométricas por lo cual algunos esquistos no los consideran fractales. Es decir, mediante la repetición de un triángulo o un cuadro u otra figura regular, hace copias iteradas de sí misma pero reducidas en tamaño (Serretino, 2014).

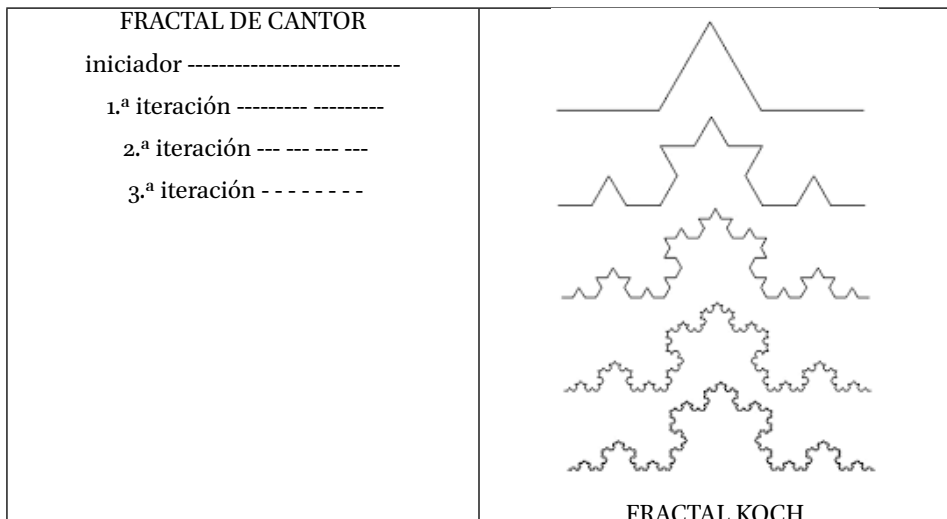
Dentro de los fractales geométricos destacan cuatro que son: los de Cantor, la Curva de Von Kock, el evolutivo de Sierpinski y el cubo de Menger.

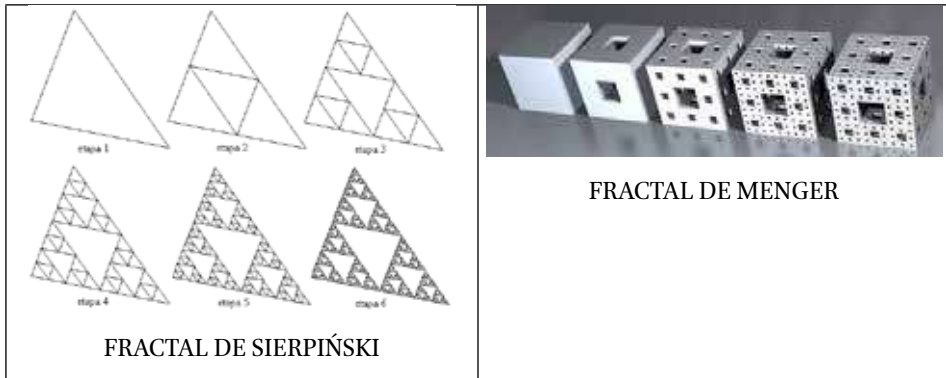
El fractal de Cantor integra valores de dimensión fractal entre 0 y 1. Las interacciones produce un “polvo” formado por muchísimos segmentos, de longitud muy pequeña.

El fractal copo de De Kock es mejor conocido como la *estrella de Koch*. Se construye mediante la iteración de un segmento partido en tres que se inserta en un triángulo equilátero, y este proceso se repite infinidad de veces. Resulta asombroso como la repetición constante de algo tan simple como una línea o un triángulo sea capaz de describir figuras no lineales como una planta, un mapa o un cactus. La ceguera mundial sobre la evidencia de los fractales sonroja, ya que el universo está lleno de fractales, plumas de los pavorreales, los deltas de los ríos, las galaxias, las notas musicales nos permite ver que los fractales están por doquier.

En la figura 2 se ilustra el proceso de construcción del fractal de Cantor y de Koch.

Figura 2. Fractales de Cantor y de Koch





Fuente: *Elaboración propia partir de Geometría Dinámica*

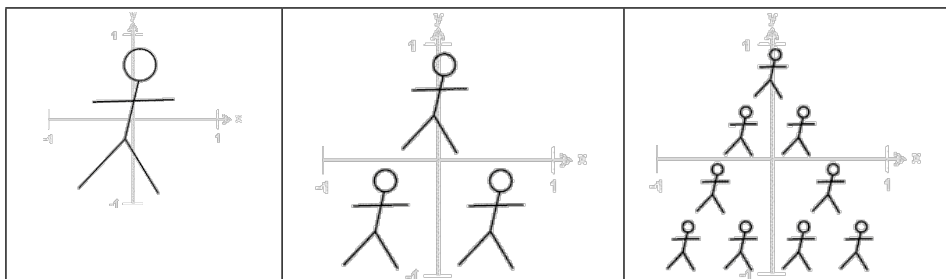
La figura anterior también ilustra el triángulo de Sierpinski hecho con muchísimos triángulos que termina dibujando una alfombra, así como la esponja o cubo de Karl Menger que es resultado de una generalización del fractal de Cantor.

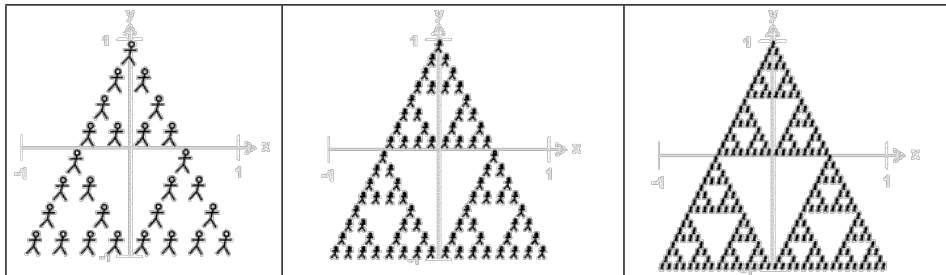
2) Fractales con Funciones Iteradas

Estos fractales se conocen por sus siglas en inglés IFS (iterated function systems) y fueron creados por Barnsley quién creó también el juego del caos. En este caso las interacciones presentan dos simetrías rotatoria y traslacional con aproximaciones sucesivas introducidas de manera aleatoria. Para producir estos fractales se requiere fijar la función y sus valores asociados.

En el ejemplo que se ilustra en la figura 3, a partir de un dibujo de un hombrecillo que se repite por ejemplo es posible dibujar el fractal de Sierpinski que generalmente se hace a partir de triángulos sucesivos.

Figura 3. Evolución del Fractal de Sierpinski





Fuente: $N = 3k - 1$

Otros ejemplo de este tipo de fractales, se ilustran en la figura 4. Se trata de una bella sábila mexicana y de un orgulloso pavirreal.

Figura 4. Fractales en la Naturaleza



Fuente: (Matemathics and Art, 2012)

Los fractales de atractores extraños serán descritos cuando abordemos la teoría del caos, sin embargo los fractales de plasma, y los de Lindenmayer, creados por iteración de polinomios complejos no se explicarán aquí por problemas de espacio. A los interesados se les sugiere ver el trabajo de (Barallo & Sanchez, 2001) y (Serretino, 2014).

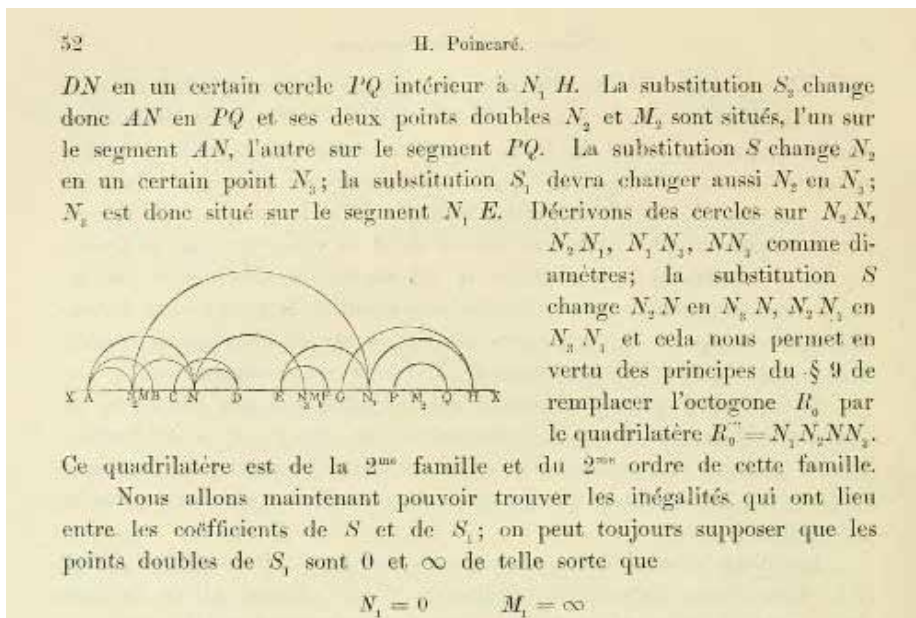
El problema de los Tres Cuerpos (Henri de Poincaré)

Henri de Poincaré fue un matemático francés de excepcional genio. Sus contribuciones abarcaron diversas disciplinas de las ciencias y fue uno de los primeros eruditos al que se le suele llamar *Polimita* del griego: *πολυμαθής* que significa el que está interesado y sabe de todo. Poincaré, erudito de amplio espectro, una persona que lo sabe todo y en profundidad, era parecido a otros genios, Leonardo

Da Vinci, Ramon Llull, Isaac Newton, Thomas Jefferson, y nuestro amado Mario Molina que hablaba 4 idiomas. De hecho, todos los filósofos de la antigüedad fueron eruditos. Un erudito es aquel científico que responde al ideal renacentista de *Homo universalis*. Uno de los hábitos y rituales de Poincaré que considero interesante destacar es la manera en que organizaba su día ya que además de sus clases, le dedicaba unas 4 horas a las matemáticas y en la noche leía ávidamente. Su genio creador conciliaba un metódico orden que luchaba con el absoluto caos de su mente privilegiada (Tamiz, 2019) (Metodode, 2014).

Poincaré, fue el primero en teorizar sobre el problema de determinar las propiedades geométricas de las ecuaciones diferenciales. Descubrió que con estas ecuaciones se podía modelar el comportamiento de varios cuerpos que se encontraban en libre movimiento en el sistema solar. Con ello realizó una de las aportaciones más relevantes al mundo de la geometría compleja y las matemáticas y una aportación indirecta a la teoría del caos al postular su Teoría de los grupos *fuchien*ses que generó conmoción por su originalidad la cual se describe en la figura 6.

Figura 6. Extracto de la Teoría de los Grupos Fuchienses



Fuente: (Poincare, 1882)

El Problema de los Tres Cuerpos (Paradoja de Poincaré)

En su época unos de grandes dilemas no resueltos que llevo al mismo rey Oscar de Suecia a ofrecer un premio a quien pudiera predecir y describir matemáticamente las posiciones de masas planetarias que se atraen por la fuerza de la gravedad pero nunca chocan entre si a lo largo del tiempo (Gómez-Esteban, P., 2012).

Poincaré hizo una propuesta fenomenal, en lugar de resolver las ecuaciones para obtener una solución, preguntó. “¿Es posible encontrar todas las soluciones? ¿Serán muy distintas o similares? ¿al dibujarlas las órbitas serian estables, inestables, o periódicas?” Aunque no pudo contestar las preguntas, porque la solución que propuso tenía un error -que por cierto no fue descubierto por el jurado, sino por un compañero que se dedicaba a la impresión del teorema-. Este error descubrió que Poincaré había probado el teorema usando una serie convergente, pero nunca había probado que esta serie fuera convergente. Cuando Poicare trabajó para corregir el error, observó algo extraño: aunque el problema físico era determinista, *en la práctica no lo era*. Es decir, tenía características complejas que Poincaré en esa época no supo explicar. Al modificar los datos iniciales con una cantidad minúscula después de cierto tiempo, los resultados eran tan diversos como las soluciones. Ahora sabemos que este es un comportamiento clásico de un sistema caótico. Con este hallazgo, Poincaré había aportado a evidencia para comprender la *teoría del caos*.

Aunque la propuesta de Poicare no resolvió el problema, su solución de Poincaré era tan superior a las demás que el premio que le fue concedido, se mantuvo. Su propuesta se llamó a partir de entonces *la conjetura de Poicare*, propuesta en 1904, y se convirtió en el problema de matemáticas más desafiante tanto para la topología geométrica el cual no se pudo resolver hasta 2002, año el cual Grigori Perelman, en tres entregas no publicadas en ninguna revista sino subidas a una página de internet el 2 de noviembre de 2002, el 10 de marzo de 2003 y el 17 de julio de 2004. Perelman resolvió la paradoja de Poincaré que duro 100 años.⁶

6. A diferencia de Poincaré, Grigori Perelman, que es uno de mis grandes héroes, rechazó la medalla Fields considerada en nobel de matemáticas y un bono de un millón de dólares del Instituto Clay de Matemáticas a los que resuelvan los 7 problemas del milenio, aun cuando vivía con su madre en un modesto apartamento junto con su madre en San Petersburgo...” *No quiero estar en exposición como un animal del zoológico. No soy ningún héroe de las matemáticas. Ni si quiera soy un hombre exitoso. No quiero que todo el mundo me esté mirando..*. (Universidad de León 2004).

El 5 de junio de 2006, dos matemáticos chinos Xiping y Huaidong presentaron la demostración completa de la paradoja usando la aportación Perelman (Cao & Zhu, 2006). Aunque fueron acusados de plagio por usar las ideas de Perelman, lo cierto es así es la ciencias, parte de estar parado “sobre hombros de gigantes” y la verdad es que su trabajo es más sistemático y riguroso, sin embargo, la comunidad y los matemáticos atribuyeron a Perelman el mérito.

La figura 7 ilustra la evolución de un bucle desde el inicio hasta su colapso en un espacio cerrado, sin agujeros. El bucle se está atado a sí mismo y la superficie se va cerrando hasta su colapso en un punto.

Figura 7. Evolución de un Bucle



Fuente: (GNU Operating System, 2022)

Volviendo a Poincaré, sus contribuciones a las matemáticas, la geografía e incluso la teoría de la relatividad son muy amplias. Aunque este campo se vio obstaculizado por su idea errónea de la existencia del Éter absoluto que fue rechazada por Einstein, sin embargo, sus contribuciones son enormes. Las conclusiones de Poincaré sobre el problema de los n cuerpos transformaron nuestra capacidad para comprender el universo de forma absoluta (Sieve, 2019). Hemos incluido su obra en nuestro libro por ser el precursor más destacado de la Teoría del Caos.

LA TEORÍA DEL CAOS

Según el Hesíodo el caos dio origen al universo. Del griego $\chi\acute{\alpha}\omicron\varsigma$ y aunque hay tiene significados destaca “*el abrirse a la caverna*”. El poeta Ovidio en su libro de las metamorfosis lo asocio al aire y le llamo *confusión elemental*.

El caos sin embargo, es un desorden incontrolable y sin retorno, confusión absoluta e indescifable, incertidumbre plena, ignorancia atroz que nos desbasta. Se le representa oscuro, con una negritud seductora, inmensa e inexplicable. Su contraparte es el orden y lo predecible. Como el caos es desconocido se le asocia con lo oscuro y con siglos de ignorancia racista produce temor generalizado. Se

busca afanosamente descífralo. Sin embargo, los esfuerzos son estériles, ya que es resultado de la desorganización y la incertidumbre exacerbada. En las religiones, el caos antecede a Dios y es por tanto su enemigo. Dios es orden, bondad absoluta, luz, guía para los perplejos que nos permite descifrar sus designios y la da una orientación y sentido a nuestra vida. A la mayoría de las personas les incomoda el caos. En psiquiatría representa una persona enferma que tiene conducta impredecibles y peligrosas. En los sistemas políticos, el caos, es insurrección, protestas feroces e incendiarias, rebeldes vociferantes que no se dejan avasallar y atacan el statu quo y amenazan a la clase dominante. El caos es la entropía llevada al extremo. El reino del desorden y la duda eterna, la ignorancia de lo que vendrá por ello causa inquietud pero fascina.

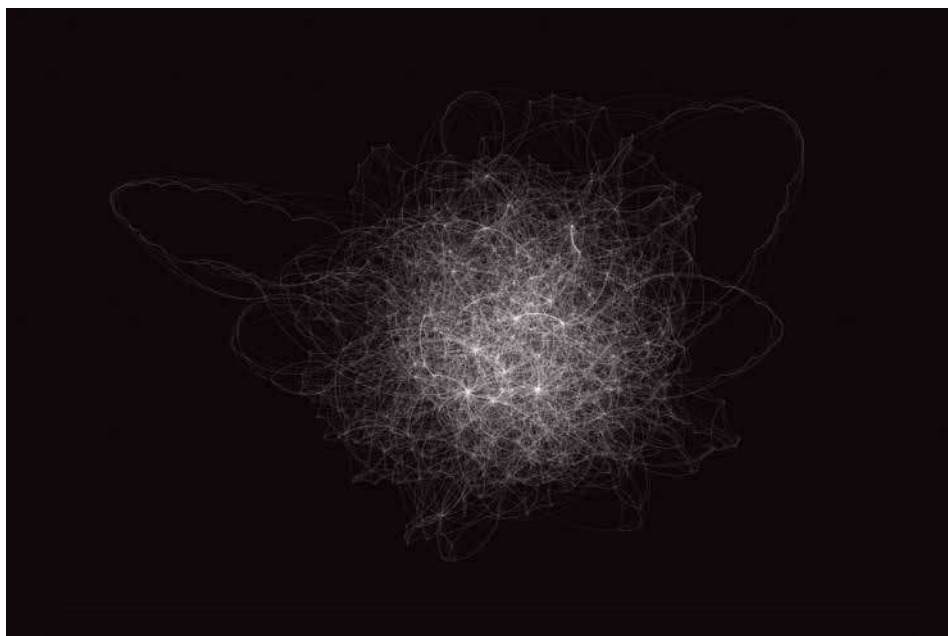
En la actualidad para poder entenderlo ha sido reducido a algo más aburrido y simple. El caos se estudia como un tema tanto en matemáticas, como en física. La popularización del término se debe al meteorólogo Lorenz quién se obstino durante en su vida a predecir los huracanes. La pequeña perturbación del aletear de una mariposa puede desencadenar un huracán dijo alguna vez Lorenz en un congreso y la frase se hizo viral. A partir de entonces, el caos se asocia *al efecto mariposa* de hecho se usa como sinónimo, aunque la mayor parte de las personas no comprenden que en realidad, “la mariposa” es en realidad el hermoso ser que derrumba el orden. Es el ángel exterminador que detrás de sus pequeñas alas propicia la destrucción de lo conocido. El grano de arena da inicio a la tormenta que nos ciega, el copo que desencadena la avalancha, el evento que cambia la vida de un niño para siempre y puede conducir a hacer de un chico normal, un gran asesino o un héroe de la patria.

Un sistema caótico tiene distintas acepciones pero se asume que todos los sistemas en el largo plazo sufren periodos de orden - caos. En la historia de la tierra, por ejemplo, ha habido cinco extinciones masivas que han destruido un orden y han creado un nuevo sistema. En el corto plazo los cambios pueden suponer la extinción de muchas especies, sin embargo, la vida siempre se abre paso y crea nuevas formas que son capaces de sobrevivir a los peores ambientes mediante la adaptación.

Tanto los sistemas inestables como los caóticos son altamente sensibles a las condiciones iniciales y pequeños cambios hacen que el sistema evolucione de manera distinta. En las islas galápagos por ejemplo Darwin estudio con profundidad a los pájaros pinzones cuyas características variaban de una isla a otra, aunque dichas islas están a una distancia que no superan los 50 kilómetros, de una de otra las diferencias entre los pinzones podría ser muy grande. En la naturaleza, el

caos esta por doquier: El movimiento de las placas tectónicas, la erupción de un volcán o de la trayectoria de un huracán. En el lenguaje popular la palabra caos se hace presente y se le usa frecuentemente de manera errónea. Se suele decir que una ciudad es caótica tal pero en realidad es un sistema complicado cuyo estudio y comprensión requiere una alta especialización. En la Figura 8 la red mirada a la distancia parece caótica sin embargo los nodos brillantes presume un orden incomprensible al que es más fácil llamarle caos, cuando no lo es.

Figura 8. Caos y Orden



Fuente: (Garcia, Circuito Aleph, 2014)

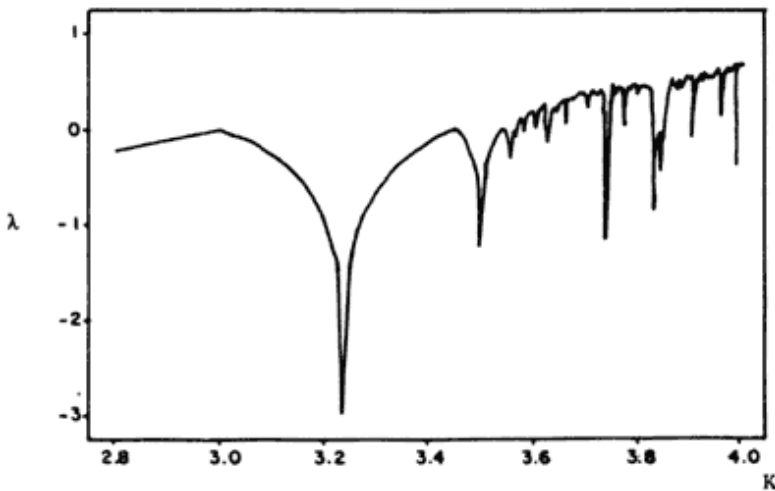
LAS RUTAS DEL CAOS (ALEKSANDR LYAPUNOV)

Aleksandr Mijáilovich Liapunov fue un maravilloso matemático ruso. Su nombre suele traducirse de distintas formas: *Lyapunov*, *Ljapunov* o *Ljapunow*. El trabajo de Lyapunov es muy amplio pero a nosotros nos interesa destacar solo sus aportaciones a la teoría del caos. En su obra se describió la estabilidad de los equilibrios de líquidos turbulentos uniformes y el movimiento de partículas sometidas a la fuerza de la gravedad. Liapunov ha pasado a la historia de los pensadores de sistemas porque desarrolló los *métodos de Liapunov*, que caracterizan la estabilidad

de conjuntos de ecuaciones diferenciales dentro del que destaca el *exponente de Lyapunov*.

Este exponente descrito con la letra lamda λ . Describe la velocidad promedio en dos trayectorias, si su exponente es negativo dichas trayectorias tenderán a converger y con ello su evolución no se volverá caótica. Si el exponente es positivos entonces las trayectoria será divergentes, muy sensible a las condiciones iniciales y se volverán caóticas. La figura 9 ilustra la evolución de una ecuación logística para valores entre 2.8 y 4 (ILICE, 2015).

Figura 9. Exponente de Lyapunov.



Fuente: (ILICE, 2015)

Liapanov probó matemáticamente que los atractores extraños son sensibles de las condiciones iniciales. Y caracterizo *las rutas del caos*. Es decir, con sus ecuaciones este científico hizo posible predecir cuándo un sistema estable se volverá caótico. Sus aportaciones fueron redescubiertas casi 100 años causan vértigo: *consiguió demostrar el teorema central del límite a partir Su artículo “Problème générale de la stabilité du mouvement” escrito en 1907 se adelantó 56 años a los trabajos de Lorenz* (Liapanov, 1907).

Prigogine llama a la teoría del caos, teoría de las estructuras disipativas su argumentación es deslumbrante por ello le haremos un espacio en el capítulo 3.

Concepto Matemático del Caos (Tien-Yien Li y J. A York)

Tien-Yien Li Senior profesor de la Universidad Estatal de Michigan y Li y James Yorke profesor de la Universidad de Maryland crearon el concepto matemático del caos publicado en el artículo “Período de Tres Implica Caos”, y fueron los primeros en hablar de *caos con seriedad matemática después de Liapanov*. Confieso que leí con avidez el artículo que solo tiene cuatro páginas y lo que ellos demostraron es que una órbita con tres periodos puede tener dos propiedades:

...” (1) *Para cada número entero y positivo de P , hay un punto en R que regresa al punto de partida. Hay un número infinito de puntos periódicos, para cada período de P . Es un caso especial del teorema de Sharkovsky.*

La segunda propiedad puede ser descrito como un huevo revuelto donde hay un par de puntos x que se acercan entre sí y luego se separan acercan juntos y se separan y así de manera iterada, sin unirse ni tocarse nunca del todo. Esta característica gráficamente es lo que posteriormente se conoce como atractor extraño.

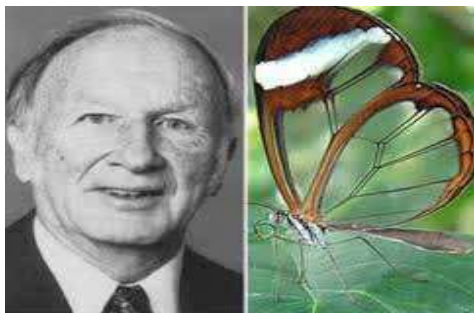
A la fórmula que satisface ambas propiedades se llama caótica en el sentido de Li y Yorke. Se representa de la siguiente forma: $F: R \rightarrow R$.” (Li & Yorke, 1975).

EL EFECTO MARIPOSA (EDWARD LORENZ)

Edward Lorenz meteorólogo del emblemático Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) por sus siglas en ingles. Y se volvió célebre por haber acuñado la palabra “*efecto mariposa*” cuando mencionó en una conferencia que el aletear de una mariposa en Pekín podría de la fuerza que desencadenara un huracán en Arizona.

El hallazgo del atractor extraño lo encontró al tratar de predecir el comportamiento de un huracán. *La figura 10 muestra al popular científico junto a su atractor extraño que por cierto fue compañero de Mario Molina en el MIT.*

Figura 10. Lorenz y su efecto mariposa



Fuente: (Coppo, 2010)

La crónica del descubrimiento de su atractor extraño data de 1963 cuando Lorenz desarrolló un modelo de 12 ecuaciones para predecir distintos fenómenos atmosféricos con el anhelo de predecir las trayectorias de un huracán. Por aquel año las computadoras aun eran muy lentas, mientras bebía un café revisaba los cálculos había hecho la computadora después de dos meses de trabajo, que no se parecía en nada a los que había obtenido antes. En aquella época las impresoras no permitían imprimir más de tres decimales. Por ello 53.453765 al quitarle tres decimales quedaba en 53.453 pero los resultados eran totalmente distintos. Sus hallazgos los publicó en un artículo ahora objeto de culto: “Deterministic non-periodic flow”. (Lorenz, 1963) (National Geographic, 2017).

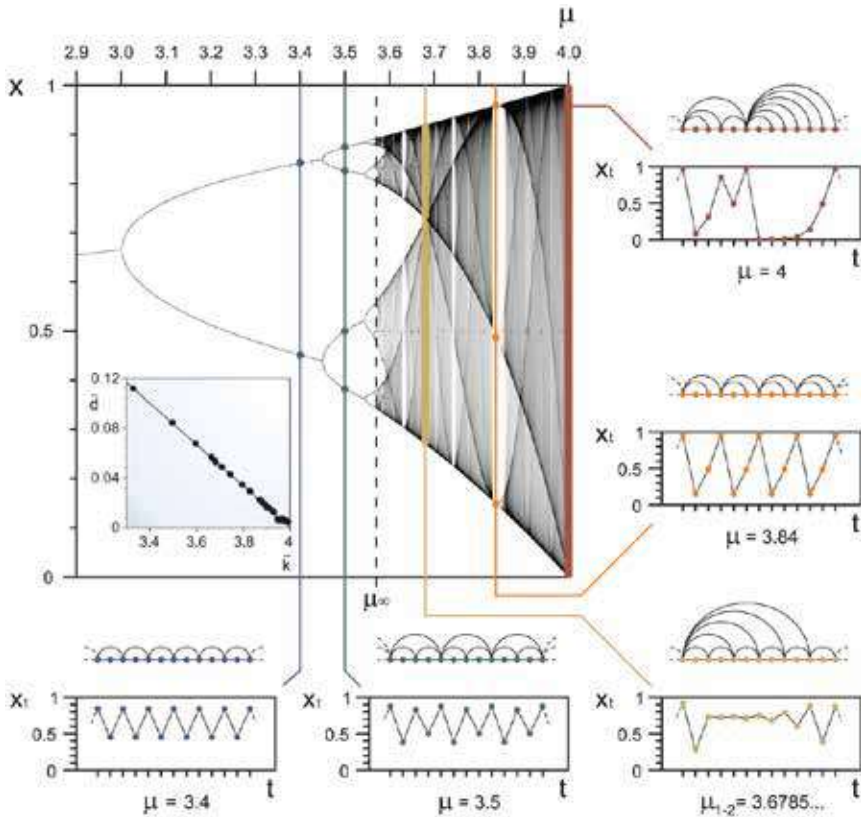
Dos cosas destacaba Lorenz en su trabajo que ahora son principios aceptados de un sistema caótico:

1) Las diferencias iniciales aun cuando parezcan infinitesimales ofrecen resultados totalmente diferentes, por ello las rutas del caos solo pueden ser predichas en el corto plazo. 2) El que el sistema nos e pueda predecir no significa que el sistema no sea imprevisible ni que sea resultado del azar, hay un centro de gravedad de los comportamientos posible. Un orden oculto que requiere de potentes computadoras para ser visto (Sole & Manrubia, 2001).

Aunque los hallazgos de Lorenz eran destacados como suele pasar con descubrimiento importantes en la historia de la ciencias sus artículos no tuvieron un gran eco en la comunidad científica hasta casi una década después cuando en 1971 Ruelle y Takens encontraron un atractor extraño en la turbulencia de fluidos. Y Robert May describió el casos en la poblaciones animales. Finalmente Feigenbaum también en las década d ellos 70 describió leyes universales para las transiciones el comportamiento regular y uno caótico y a pesar de ello pueden evolucionar a volverse ambos caóticos.

Estas graficas se ilustran en la figura 12 se presentan la transición de un comportamiento periódico a un comportamiento caótico mediante bifurcaciones de duplicación de períodos. (Luque, Lacasa, Ballesteros, & Robledo , 2011)

Figura 12. Las Gráficas del Caos de Feigenbaun a Comportamiento Caótico



El precioso atractor tan popular como la Gioconda en el arte y con forma de mariposa se ilustra en la Figura 13.

El atractor se construye con un conjunto de tres ecuaciones. $x' = y$

$$y' = x(1 - z) - Bx^3 - \lambda$$

$$z' = -\alpha(z - x^2)$$

donde $\alpha = \beta/p$

$$\sigma(\rho - 1)$$

$$\lambda = (1 + \sigma)/p$$

$$\sigma(\rho - 1)$$

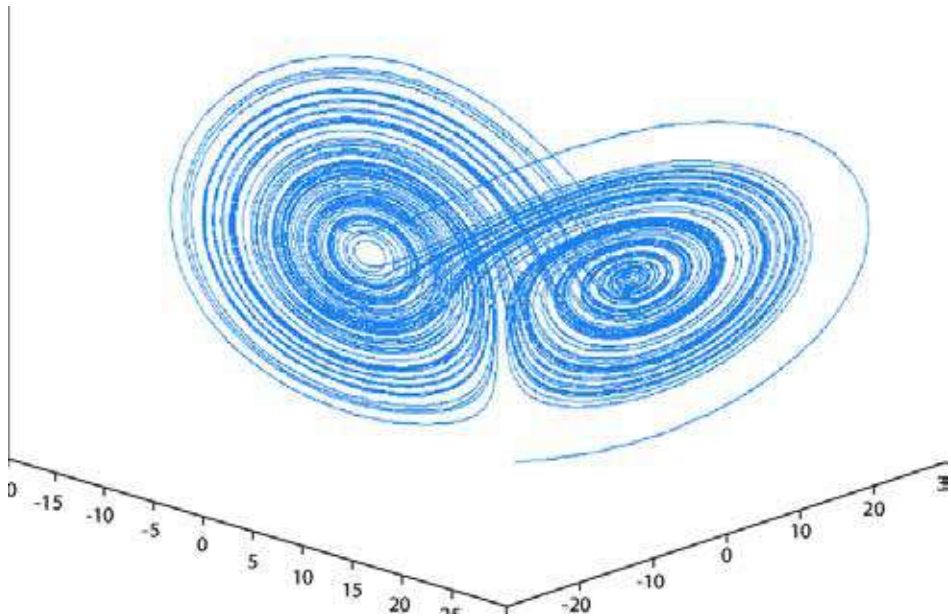
$$B = \beta/(2\sigma - \beta).$$

Cuando la variable P es menor a 1 es sistema se bifurca la variable $z = \rho - 1$

La figura 13 ilustra el atractor de Lorenz con su conocida forma con alas de una mariposa. Un ser que tiene la notable peculiaridad de ser un feo bicho (una oruga) en una parte de su vida y al evolucionar se convierte en algo bellísimo que puede volar. Esta transformación no se observa en ningún otro animal en la tierra.

En esta ilustración el atractor aparece en una interesante aplicación que hacen (Rubio & Mansilla, 2015) de los sistemas dinámicos aplicado a las embolias.

Figura 13. El Atractor de Lorenz en una Embolia



Fuente: (Rubio & Mansilla, 2015)

Según (Barzanallana, 2016) el estudio del caos desde el punto de vista científico hará que el siglo 20 será recordado por tres revoluciones científicas: la relatividad, mecánica cuántica y el caos cuya imagen más icónica es justamente el atractor de Lorenz, y aunque es erróneo suponer esta equivalencia ya que en el atractor como ya se ha dicho es en realidad el orden dentro del caos y no el caos mismo.

Es como ver a Dios en medio de la confusión más absoluta.

La evidencia del efecto mariposa esta sólidamente documentado en las ciencias naturales. Sin embargo un caso destacado es la serie de eventos no lineales que ocurrieron en Túnez luego que un joven desempleado después que el corrup-

to gobierno que gobernó con mano de hierro ese precioso país decidió inmolarse en fuego y 15 días es obligada a salir del país y con ello da inicio a la llamada primavera árabe. La cara del héroe Mohamed Bouazizi se así como su martirio aparecen en la Figura 14.

Figura 14. Mohamed Bouazizi y el inicio de la primavera árabe en Túnez.



Fuente: (Save Tunisia for good, 2015)

De una manera más reciente y cercana en 2019, alguien en un mercado de Wujan China alguien decide comerse un murciélago en Diciembre de 2019. Se inicia la propagación de un coronavirus desconocido y 10 meses después hay una pandemia mundial con 1.2 millones de muertos y más de 11 millones de infectados activos al 1 de noviembre de 2020. En Estados Unidos la pandemia le cuesta el puesto al errático y mentiroso presidente de Donald Trump.

ATRACTORES EXTRAÑOS EN DIFERENTES SISTEMAS

La figura 13, ilustra el hermoso atractor de Saturno.

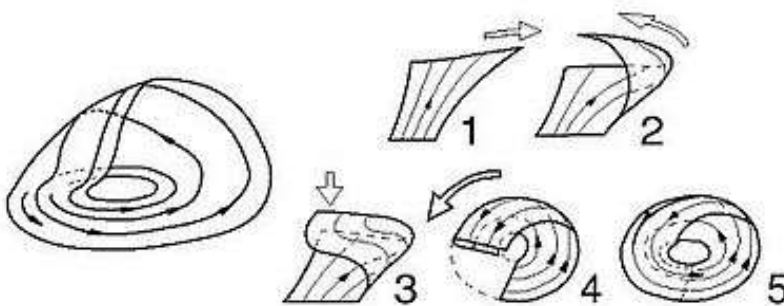
Figura 15. El atractor de Saturno



Fuente: <https://www.google.com.mx/search?q=Teoria+de+los+sistemas+dinamicos&biw>

Otro atractor simbólico es el atractor de Rössler por estar asociado a algo tan importante como es el pan. En la Figura 16 se describe en cinco fases como se crea un atractor emulando el trabajo que hace un panadero al amasar un bollo.

Figura 16. Atractor de la transformación del panadero



Fuente: (Sole & Manrubia, 2001)

Este doble proceso de estirar (para separar exponencialmente las trayectorias) y plegar (para que la región del espacio de fases se mantenga acotado) es un mecanismo fundamental del caos determinista. A este proceso se le denomina

transformación del panadero, porque el proceso de homogeneizar la masa consiste también en estirar (para homogeneizar) y plegar (para tener unas dimensiones manejables) la masa repetidas veces. (Sole & Manrubia, 2001). Al repetir n veces el proceso, se logran n capas que dan atractor del panadero una estructura fractal.

Aunque parece que la teoría del caos y los sistemas complejos son rollos de científicos abstractos, en la vida cotidiana una causa pequeña puede producir un gran efecto y una causa grande produce un pequeño efecto. Cazau caracteriza tres tipos de efectos: a) *Efecto palanca: una simple palanca, o una polea como la que invento Arquímedes hace 2000, puede multiplicar varias veces un efecto, y ahorrar mucho esfuerzo muscular.* b) *Efecto gota de agua: En la tortura de origen chino y que solían usar los inquisidores en la época de colonia consiste en una sencilla gota de agua que al caer horada la cabeza de un prisionero hasta la locura.* c) *Efecto de combinación: Pequeñas cantidades de alcohol o una pastilla psicotrópica de 5 dólares puede producir un alucine colosal, el coma o incluso la muerte* (Cazau, 2014).

EL MODELO DE SISTEMA DE REPARACIÓN METABÓLICA (ROBERT ROSEN)

Robert Rosen realizó aportaciones a la complejidad en el campo de la Biología. Dotado de una formación transdisciplinaria, estudió biología, matemáticas, física, filosofía e historia. Sus colegas le llamaban el *Newton de la Biología*. Su trabajo combina matemáticas sofisticadas con puntos de vista radicalmente nuevos sobre la naturaleza de los sistemas vivos. Creó varios conceptos entre los que destacan: metodología biología relacional, organización en biología, Sistemas de reparación del metabolismo que es que trataremos de describir

De acuerdo a los investigaciones de Rosen el cuerpo humano de regenera completamente cada 8 semanas debido a los procesos metabólico de replicación y reparación, aunque la mente mantiene la unidad del ser. Es por ello que la Biología debería de asumir un enfoque de totalidad.. (Rosen, 2019).

Según la opinión de Rosen, los sistemas vivos al interactuar con el entorno se autoorganizan. Estos sistemas se mantienen mediante flujos de información, energía y materia.

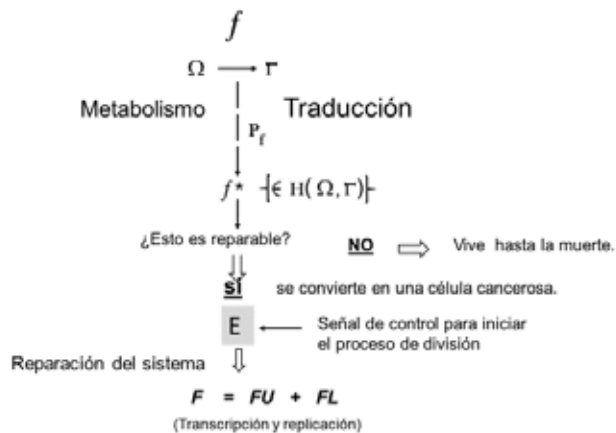
La propuesta de Rosen estaba en directa contradicción con la suposición de Descartes de que los animales son sólo máquinas o mecanismos más elaborados. En su libro *Anticipatory Systems* ofreció una explicación detallada de su idea de

relación de modelado que mostró profundas diferencias entre una relación de modelado verdadero y una simulación.

Rosen afirmaba que sí el sistema no tiene la capacidad de metabolizar sus partes, el sistema o el organismo muere sin remedio.

La figura 15, representa los subsistemas metabólicos y R representa los subsistemas de ‘reparación’ de un organismo simple.

Figura 17. Modelo Sistemas de Reparación Metabólica



Fuente: (Zhang, Sugisaka, & Xu, 1999)

Las contribuciones de Robert están registradas actualmente en la biología funcional así como en biología de sistemas complejos cuyo modelado es abstracto y requiere una sólida formación en matemáticas.

Las aportaciones de Rosen son muy respetadas en los sistemas complejos porque busca responder una de las preguntas más importantes de la Biología :¿Que es la Vida?

Esta crestón ha sido respondida expertos en complejidad, para Maturana y Varela la vida debe tener dos propiedades: Es una red de procesos biológicos de ser regeneran continuamente de manera circular y b) componentes del sistema desarrollan una topología para adaptarse al entono por eso las epicedios tiene variedades. Para t Kauffman vida se forma con moléculas (ARN). Tiene las capacidad de catalizar los nutrientes de su entorno.

La propuesta de Rosen en más exquisita, Según él la vida debe varias condiciones:

1. Ser un sistema termodinámicamente abierto que gestione los flujos de energía y las contingencias del no equilibrio.
2. Las reacciones del organismo deben estar catalizadas y estar especializadas.
3. El sistema del ser debe estar cerrado catalíticamente.
4. El ser vivo debe tener una red de procesos que permitan su individualidad. Dichas características no podría ocurrir en la *sopa prebiótica* que domino tanto tiempo la biología moderna a partir de los experimento de Miller. (Cardenas , Piedrafita, Montero, & Cornish-Bowden, 2019)

Bajo la visión de Rosen a vida no puede surgir sin un cierre estructural. Paradójicamente sus sistemas (M, R) sus hiperciclos y grupos auto catalíticos, no tienen y por tanto bajo las 4 condiciones enunciadas por Rosen y por tanto serian incapaces de explicar qué es la vida. No obstante sus aportes a la complejidad biológica. Contribuyeron a luchar contra el reduccionismo en el campo de la Biología.

Si bien el modelo de Rosen catalítico aportó mucho en su , las definiciones más modernas de lo que es la vida adoptada por el Instituto de Astrobiología de la NASA menciona que: "*Los seres vivos son sistemas químicos auto replicativos, que evolucionan como consecuencia de la interacción con el medio ambiente..*" (Briones, 2018)

LA TEORÍA DE LAS CATÁSTROFES (RENE THORM)

Rene Thorm es un profesor francés creador de la seductora Teoría de las Catástrofes. Aunque su teoría se desestimó por muchos de sus contemporáneos. Thorm recibió en 1958 la prestigiosa medalla Fields que se da a las personas que consiguieren descifrar los enigmas más importantes de la ciencia. Thorm se inspiró en la paradoja de Henri Poincaré y trato de crear un marco teórico que permitiera modelizar mutaciones, rupturas críticas y discontinuidades tan frecuentes en los sistemas biológicos. Como Thorm era matemático, la teoría de las catástrofes una sólida base matemática sin embargo, su uso es universal (Racionero, 1986).

La palabra catástrofe viene latín del *catastrōphe*, y del griego. Y se asocia a algo muy negativo: una destrucción enorme o una pérdida irreparable e irreversible. En Matemáticas. Es un cambio repentino de un sistema dinámico, cuando uno de sus parámetros se altera mínimamente.

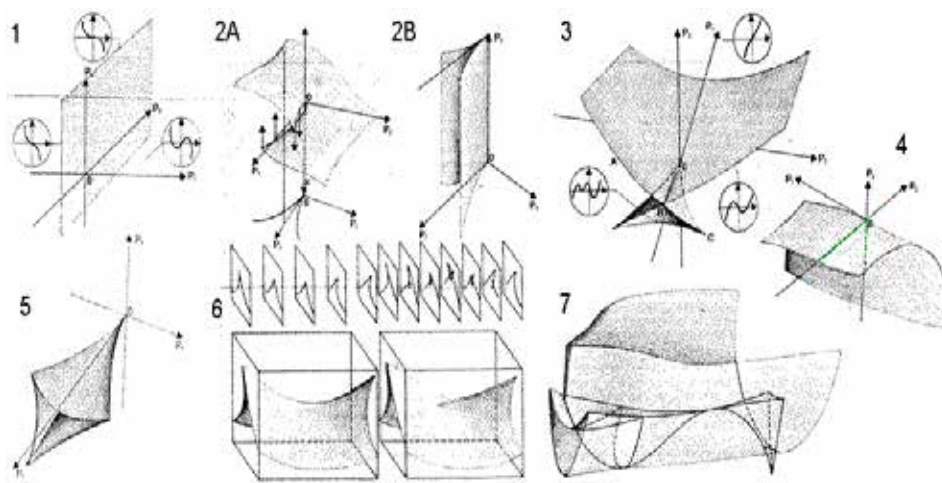
Para Thorm las “catástrofes” sin embargo, no son más que formas geométricas abstractas que simbolizan procesos de evolución discontinuas de la realidad. *Una solo es un cambio brusco.*

De acuerdo a su teoría hay cuatro estados de un sistema dinámico. 1) Estabilidad. 2) Discontinuidad, 3) Divergencias. (Pequeñas divergencias producen grandes cambios). 4) Histéresis. Un sistema dinámico aunque regrese a la situación inicial nunca es el mismo de antes (Thorm, 1977).

La teoría de las catástrofes modelizó siete modalidades de catástrofes que se ilustran en la Figura 16.

A) catástrofe de pliegue asociado. B) Cúspide de tres dimensiones, C) catástrofe cola de milano, D) catástrofe de ombligo hiperbólico. E) catástrofe de ombligo elíptico. F) mariposa. G) catástrofe de hongo (Thorm, 1977).

Figura 18. Tipos de Catástrofes



Fuente: (Ekeland, 1977)

Los estragos producidos por el cambio climático han revivido la teoría de las catástrofes de Thorm. Derivado de su trabajo los modelos dinámicos han avanzado machismo y hoy en día, es posible predecir con gran certeza el clima que van de uno a tres días. El trabajo de Thorm se inscribe de lleno en el análisis de sistemas complejos ya que un sistema estable y predecible pueden volverse caótico sin pasar por otras fases de evolución como lo complicado, lo complejo. La catástrofe en los sistemas dinámicos es la fase superior de la emergencia.

Por la sólida base matemática de su teoría, es difícil de seguir para los lectores a los que va dirigido este libro, sin embargo, sus aplicaciones se observan en todos los sistemas sociales y organizativos. Las empresas enfrentan bancarrotas y en los sistemas biológicos cuando aparecen depredadores, inesperados una especie se puede extinguir. En los sistemas sociales los casos de la guerra en Irak y Siria resultan emblemáticos. Fueron totalmente arrasados por la hipocresía y las mentiras de las potencias occidentales que iniciaron las guerras partiendo de mentiras el armamento de destrucción masiva de Sadam Husein en el caso de Irak, o de la ingenua ilusión de que promover “una primavera árabe” pensando que lo que había ocurrido en Túnez conduciría a la democracias en Libia y en Siria. El presidente Obama declaró que uno de sus mayores errores en política exterior fue pensar que la destrucción del régimen autocrático de Gadafi conduciría a un avance social, sin embargo lo que realmente ocurrió fue una catástrofe social que permitió que un grupo fanático de reminiscencias medievales como el Estado Islámico sometiera a varios países a una guerra sangrienta que generó una pobreza y destrucción indescriptibles y la pérdida de tesoros arqueológicos patrimonio de la humanidad. Por ello, el estudio de las catástrofes es de particular interés para la evolución organizacional y social.

Existen también aplicaciones para las ciencias naturales y para la Dirección Estratégica y la Sociología. En Ciencias Sociales son más escasos los trabajos por ello, destaca la controversial investigación de Erik Christopher Zeeman quién uso la teoría para estudiar los conflictos carcelarios (Poston & Stewart, 1978).

LA DINÁMICA DE SISTEMAS (JOHN STERMAN)

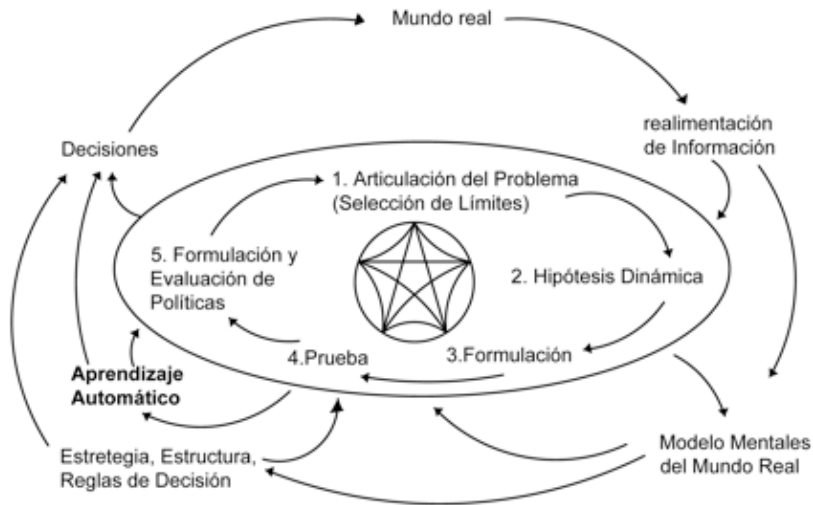
Existen dos enfoques para la modelización de los sistemas dinámicos: El modelo de John Sterman y el de Forrester.

El modelo de (Sterman J. , 2000) propone 5 fases: a) Describir el sistema dinámico) Proponer hipótesis que expliquen la dinámica, c) simular el sistema, d) realizar pruebas del modelo e) proponer un sistema de evaluación para el sistema .

Este modelo se usa para para estudiar política públicas inspirado en la teoría de la gerencia pública.

Aunque es un enfoque cualitativo resulta de interés para nuestro libro permite simular sistemas complejos. Este modelo se ilustra en la Figura 19.

Figura 19. El Modelo de Sterman



Fuente: (Farnos, 2018)

El modelo de Sterman ha conseguido sobrevivir al paso del tiempo y es posible aplicarlo haciendo uso del software Dymano y Stella, o más recientemente Versim los cuales tienen una versión gratuita.

Procedimiento para crear un modelado de sistemas dinámicos

Un sistema dinámico es aquel que cambia con el tiempo con al menos dos variables. Entre más variables tenga el modelo más difícil será de conceptualizarlo y de comprenderlo.

Tiene tres fases con distintas actividades que se describen en el cuadro 1:

Cuadro1 Fases para la Creación de un Sistema Dinámico

Fase 1) Crear el Diagrama Causal.	Fase 2) Crear el diagrama de flujos	Fase 3) Elaborar Conclusiones
1.- Describir el problema a modelar 2.- Identificar r las influencias de primer, segundo y tercer orden. 3.- Dibujar el primer borrador del diagrama causal 4.- identificar bucles de realimentación 5.- Eliminar las influencias irrelevantes 6. Proponer soluciones al problema	Identificar los bucle causales Crear los parámetros de medición Dar valor a parámetros Elaborar la versión 1 del modelo Evaluar bucles causales clave Correr una simulación	Se evalúa el comportamiento dinámico en el tiempo. Se hacen recomendaciones y acciones remediales

Fuente: (ULADECH, 2020)

Existe varios ejemplo de su uso la biblioteca de casos de John Sterman en la biblioteca del MIT y en español, hay ejemplo en la Universidad Católica Los Angeles de Chimbote Perú. Ver (ULADECH, 2020).

DINÁMICA DE SISTEMAS Y DIAGRAMAS CAUSALES DE (JAY FORRESTER)

El modelo de Forrester, de desarrolló entre 1961, y 1994. Esto es muy aleccionador ya que demuestra que las ideas no son expresiones geniales sino que evolucionan en el tiempo (Forrester J. , 1994).

Según Forrester la modelación de un sistema dinámico debe construirse en seis fases que son:

1. Describir el sistema estudiado
2. Convertir la descripción en parámetro
3. Simular el modelo
4. Identificar los bucles causales

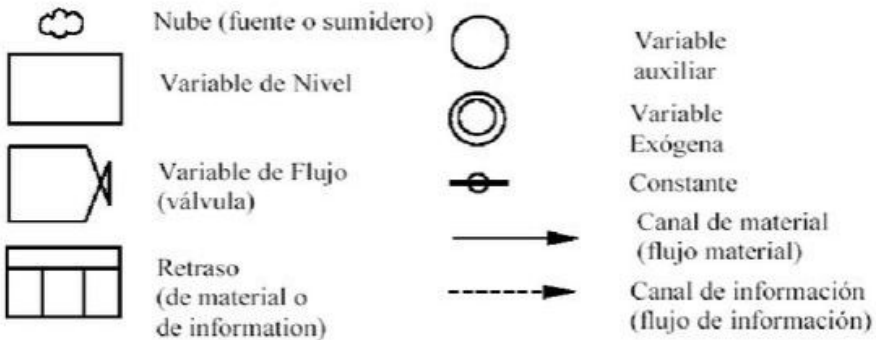
5. Discusión los hallazgos
6. Implantar los cambios

A lo largo de su vida Forrester aplicó su modelo a comprender el comportamiento económico de Estados Unidos así como al análisis de la educación preuniversitaria.

Fue el creador del grupo de Dinámica de Sistemas el Instituto Tecnológico de Massachussets e inicio el estudio de la dinámica industrial. En su libro Dinámica Urbana realizó importantes aportaciones a la comprensión de las grandes ciudades de su tiempo.

En los sistemas complejos sus diagramas son muy populares y fue uno de los primeros científicos que ofreció la posibilidad de simular sistemas complejos como un instrumento analítico de alta calidad central de análisis. (Forrester J. W., 1971). Los diagramas de Forrester son los precursores de los diagrama de bucles causales y usan el programa Versim.

Figura 18. Simbología de los diagramas de Forrester



Fuente: <http://dinamicadesistemasudo.blogspot.com/2012/07/simbologia-del-diagrama-de-forrester.html>

Forrester aplicó sus primeros diagramas para comprender las razones de éxito o fracaso de una empresa. Posteriormente y asesorando al Club de Roma , escalo su visión para tratar de entender un modelo del sistema socioeconómico del mundo. Sus hallazgos están publicados en su libro World Dynamics. Luego de su éxito con el Club de Roma, trabajó con John Coillins quien había sido Alcalde de Boston y junto con el aplicó sus modelos para comprender los sistemas urbanos lo cual se reflejó en su libro Urba dynamics, donde descubrió que el efecto de los subsidios a las personas pobres con menores ingresos, los estimulaba a ocupar el centro de

la ciudad, dando una lamentable imagen de pobreza. Forrester propone un conjunto de pasos ordenados para crear un diagrama causal que se asemeja mucho al ejemplo que describiremos en el siguiente apartado(Boletín de Dinámica de Sistemas, 2019).

DISEÑO DE UN DIAGRAMA DE BUCLES CAUSALES

Los diagramas de bucles causales son distintos de los diagramas de Stermán y los diagramas de flujos de Forrester. Es una evolución de ambos a los que se ha añadido el uso de Software. Otra diferencia destacable es que trata de entender el comportamiento de un sistema complejo a lo largo del tiempo usando palabras y flechas que se representan en forma de bucles.

Fue un científico japonés el que caracterizó con más acierto estos diagramas en un artículo llamado *The Second Cybernetics: Deviation-Amplifying Mutual Causal* donde acuñó dos conceptos importantes: Meta génesis y Meta estabilizador para distinguir las influencias positivas o negativas. El bucle positivo es una entrada y aumenta la influencia de una variable y el bucle negativo contribuye a su estabilidad y por lo tanto se le representa en el diagrama con símbolos negativos (Marutama, 1963).

El uso de los diagramas de bucle se puede aplicar en todas las disciplinas. Los investigadores de ciencias sociales que se atreven a usarlo encuentran un gran aliado para caracterizar los problemas sociales difíciles de integrar por su carácter disipativo y porque son más sensibles al contexto y pueden tener múltiples respuestas. Los bucles pueden representar personas, empresas, instituciones, países, sistemas, y sus cambios en el tiempo. Esta es la capacidad de representar los cambios es lo que lo hace útil para estudiar la dinámica de los sistemas.

El diagrama, es el sentido gráfico una cadena semi cerrada de relaciones causales resultado de la dinámica de los bucles. Es muy importante representar claramente los lazos de realimentación, y su impacto en cada bucle.

1. Describir con una frase de no más de 10 palabras el problema a estudiar. Ejemplo: Causas de la violencia criminal en América Latina.
2. Identificar gráficamente todas las variables asociadas con el problema. Entre 3 y 5. Se sugiere ser ordenado y metodológico y fundamentar variable en evidencia empírica.

3. Hacer un diagrama sagital (con flechas)de subvariables máximo cuatro por cada variable relevante.
4. Elabora en cuatro columna las fuerzas que alimentan cada uno de los tres bucles, usando la notación B1, B2, B3 y el flujo de Resultados R.
5. Asignar el símbolo de más (+) si la sub variable refuerza a la variable o de menos (-) si lo atenúa En color verde.

B(+)₁ Desigualdad social (+)	B₂ Falta de oportunidades laborales y de ascenso social	B₃ Debilidad de instituciones de seguridad del estado	R₁ Violencia criminal en América Latina
Pobreza estructural (+)	Alta informalidad	Policía ineficaz (+)	
Sistema fiscal inequitativo (+)	Falta de coberturas y ayudas sociales	Corrupción tolerada socialmente (+)	
Concentración de la riqueza (+)	Ineficaz Sistema educativo	Delincuencia organizada con poder económico y político (+)	
Estado de Bienestar (-)	Crecimiento económico (-)	Sistemas informáticos de inteligencia criminal(-)	

6. En los bucles causales los positivos provocan inestabilidad en el sistema y los negativos los estabilizan.
7. Quitar variables sin relevancia significativa.
8. Analizar a detalle el efecto de bucles positivos y la forma en que se relacionan para explicar el problema
9. Dibujar el diagrama causa y e identificar su efecto principal usando el software Versim. Ver. <https://vensim.com/>

El software es gratuito y tiene tutoriales que permiten dibujar los diagramas. Sin embargo sugerimos hacerlo primero en papel, y luego pasarlo al software.

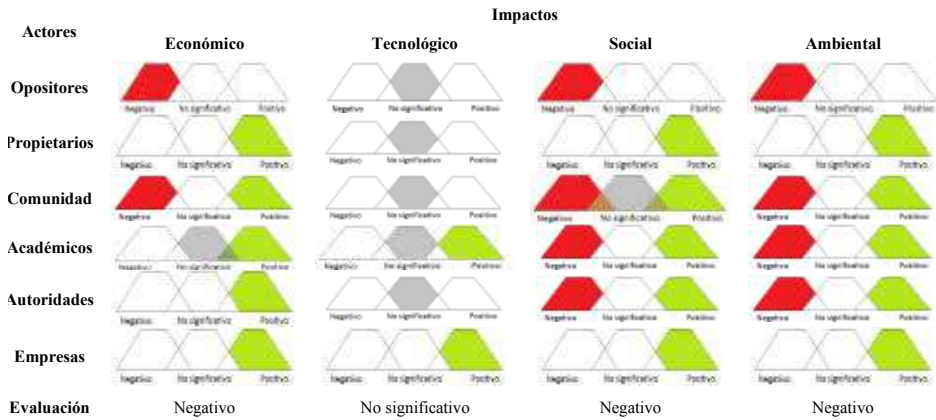
Existen varios software para hacer un diagrama de bucles: Stella, Ithink, powersin y Dynamo. El más destacado y recomendable es Vensim el cual tiene cuatro versiones: Vensim PLE es una versión básica, Vensim PLE PLUS permite la importación de datos desde hoja de excel y modelos con una gran facilidad de actualización. Vensim Professional que dibuja modelos de simulación de gran detalle y complejidad, incluyendo prestaciones de optimización y de calibración y Vensim DSS que es la más completa permite crear simuladores en base a modelos de simulación y vincularse a otros programas de software (ATC- Innova, 2018)

A continuación, ilustramos tres ejemplos de bucles causales a diferentes contextos . Uno para ilustrar los impactos económicos, sociales, tecnológicos y ambientales de los parques eólicos en Oaxaca (Martínez- Mendoza 2018). Dos. Para explicar las razones por las cuales el narcotraficante Joaquín Guzmán se fugó de un cárcel de alta seguridad y el tercero para explicar las causas que determinar el desempeño de un proyecto de construcción.

Ejemplo 1 Impacto de la Energía Eólica en Istmo de Tehuantepec Oaxaca

Para ilustrar un ejemplo de aplicación de diagramas de bucles casuales, en su tesis doctoral, Eduardo Martínez-Mendoza, uno de los estudiantes de doctorado más brillantes que he tenido, ahora un destacado Doctor, utilizó un diagrama de bucles casuales para explicar el impacto social, económico, tecnológico y ambiental que las empresas generadoras de energía eólica han causado en el Istmo de Tehuantepec una de las zonas más ricas del mundo debido a su increíble factor de potencia. Para su construcción luego de realizar varias entrevistas con los actores clave que fueron: la población, los grupos de oposición, las autoridades, los dueños de las tierras donde se asientan las tierras (Martínez-Mendoza, 2018) creó un árbol de impactos sociales en la gráfica 19, donde resumió básicamente tres cosas: los beneficios sociales reportados, la distribución del ingreso económico y los reportes de las causas de la resistencia social.

Figura 19. Impacto Social de la Energía Eólica en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca



Fuente: (Martínez- Mendoza, 2018)

Entonces, y comprendiendo estas relaciones causa-efecto, construyó el diagrama de bucle causal utilizando el software de libro de acceso Versim que se ilustra en la Figura 20.

Figura 20. Diagrama Causal de los efectos de la Energía Eólica en el Istmo de Tehuantepec



Fuente: (Martínez- Mendoza, 2018)

Como se puede ver el diagrama de bucle causal ofrece una imagen más comprensible y certera del fenómeno estudiado y permite percibir las relaciones de las otras fuerzas para comprender el grado de conflictividad social que ha despertado la llegada de las empresas eólicas que de otra manera no se podrían entender el uso de diagramas lineales de causa-efecto.

La tesis de (Martínez-Mendoza, 2018) es realmente una lectura muy recomendable por su novedad y por su rigor metodológico y puede ser consultada en el repositorio de la UNAM. Su tesis ilustra otras aplicaciones de interés para el estudiante de sistemas complejos y, además de los diagramas de bucle, se ilustra el diseño de cuestionarios mediante lógica difusa.

Ejemplo 2. La Fuga del Chapo Guzmán

Otro ejemplo más mediático y más simple, elaborado por el autor, es el que ilustra las causas en la fuga del Narcotraficante Joaquín Guzmán Loera conocido como el Chapo.

En la Figura 21 se ilustra la relación de eventos que condujeron al escape del narcotraficante Joaquín El Chapo Guzmán de una prisión de alta seguridad en México. De acuerdo a los hechos que se conocieron después de su fuga, huyó por un túnel de 1.5 kilómetros de largo que requirió el uso de tecnología industrial e ingeniería avanzada. Un conjunto de hechos se combinaron pueden ser resumidos en 4 grandes bucles: Corrupción e incompetencia de autoridades⁷, la asombrosa capacidad tecnológica para hacer túneles del cartel de Sinaloa, conservación de la riqueza material y relacional de Chapo, y desarrollo de una estrategia legal. De acuerdo a la relatoría de los hechos que llevo a cabo la Procuraduría General de la Republica después de la fuga. Las autoridades que se nombraron al más alto nivel como es el comisionado Nacional para la Seguridad (Mondragon⁸

7. *..“Por sugerencia de Osorio Chong, el presidente Peña Nieto designó al frente del Cisen a Eugenio Imaz, con nula experiencia real en temas de inteligencia, pero cuya carrera política fue de la mano del exgobernador de Hidalgo. Imaz tomó el control de la inteligencia en los penales de máxima seguridad, como El Altiplano, de donde se fugó El Chapo Guzmán.”* (Riva- Palacio, 2015)

8. *..“Mondragón modificó procedimientos, métodos, eliminó la autonomía de los policías custodios con los policías federales e incorporó como autoridad suprema en materia de vigilancia en los penales de máxima seguridad al área de Inteligencia de la Policía Federal. Cuando lo sustituyó Rubido el 25 de marzo del año pasado, no se dio un giro al relajamien-*

Aunque hemos ejemplificado un hecho de sobra conocido para hacer menos aburrido este libro, estos diagramas son muy útiles para ilustrar la complejidad de un sistema con múltiples entradas salidas y relaciones. La base del método es que la estructura de cualquier sistema es tan importante en la determinación de su comportamiento como los propios componentes individuales.

Ejemplo 3 . Medición de la Complejidad en Proyectos de Infraestructura

Para completar los ejemplo del uso de los bucles causales añadiremos otro ejemplo para ilustrar la versatilidad de la técnica.

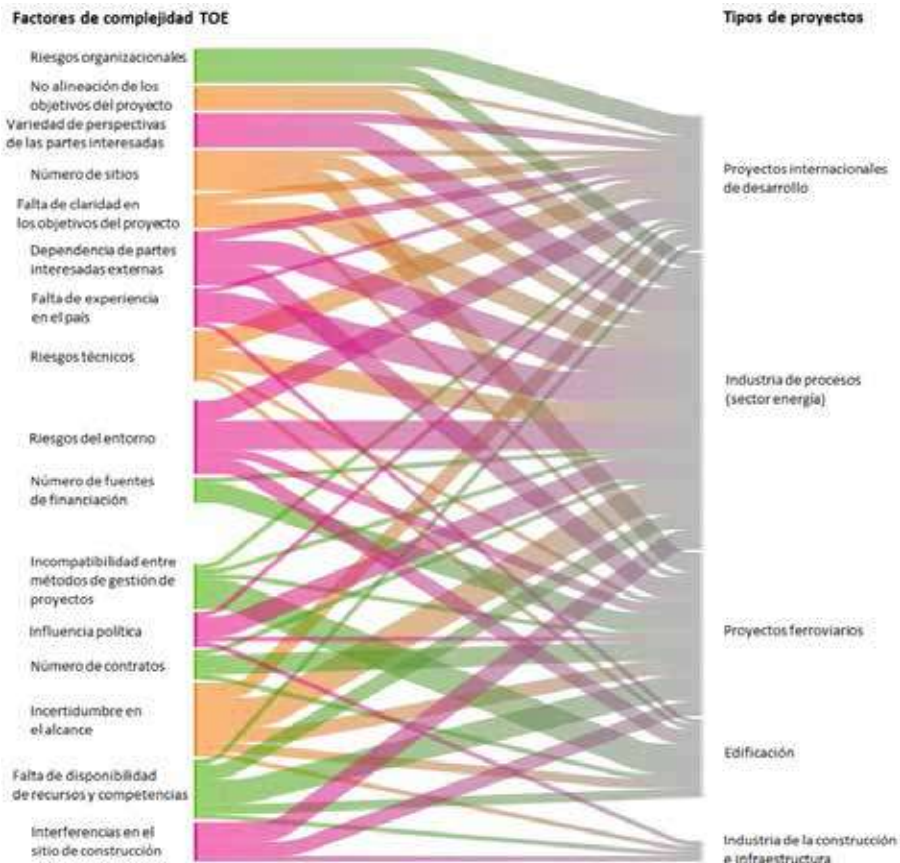
Se trata de una revisión teórica de los modelos para medir la complejidad en los proyectos de construcción donde es frecuente que al final del periodo establecido sobre todo en proyecto públicos la obra cueste mas y se tarde más tiempo en entregar.

La investigación fue parte de una investigación doctoral del ahora Dr. Flavio Durón- González en el Instituto Politecnico Nacional.

Como resultado de un análisis heurístico a los cuatro modelos que afirmaban medir la complejidad que son: Marco TOE, Modelo HoPC, Modelo csQCA-FANP, y el Modelo Chapman.

Se realizo una tabla de coocurrencias de los factores del Marco TOE y los tipos de proyectos de los cuatro modelos comparados se ilustran en el diagrama de Sanky que se ilustra en la figura 22.

Figura 22. Factores de Complejidad y Tipo de Proyectos en Construcción



Fuente: (Durón- González, , Rivas- Tovar , & Cárdenas- Tapia, 2022)

Una de las conclusiones más relevantes de la revisión del estado del arte y el análisis heurístico permite afirmar que ninguno de los cuatro modelos sirve para medir la complejidad en los tres aspectos centrales para determinar que un sistema es complejo: emergencia, no linealidad y la formación de patrones. Por ello se propuso el diagrama de bucles causales llamado Modelo Durica que establece relaciones sugeridas por la revisión de las propuestas de los métodos mencionados y es lo que le da validez de contenido al diagrama de bucles causales, elaborado por el Software Vernim. Y que se ilustra en la figura

En este modelo que es quizás el más didáctico de los tres que hemos presentado, se observa con claridad que hay tres bucles causales los cuales están relacionados entre sí. Este detalle es importante destacar porque un error común, a evitar,

es dibujar bucles separados, lo cual convierte automáticamente al diagrama en un diagrama causa efecto de tipo determinista o en el mejor de los casos un diagrama de senderos, que se usa para aplicar medición con ecuaciones estructurales con AMOS o Lisrel.

En la figura 23, los bucles aparecen con las causas que los crean, en el Bucle 1, Los patrones de riesgo son generados por la incertidumbre inherente a los proyectos, la (calidad) de información del eco sistema, la voluntad política de las gobernantes o de la alta dirección de la empresa y los cambios en los alcances que suelen ocurrir dependiendo de las contingencias del contexto.

Nótese que cada flecha va acompañada de un signo de denota sí la causa refuerza o atenúa el bucle causal . Asimismo, debe observarse que cada buble genera una causa conjunta que determina el efecto estudiado , en este caso el *Desempeño del Proyecto*.

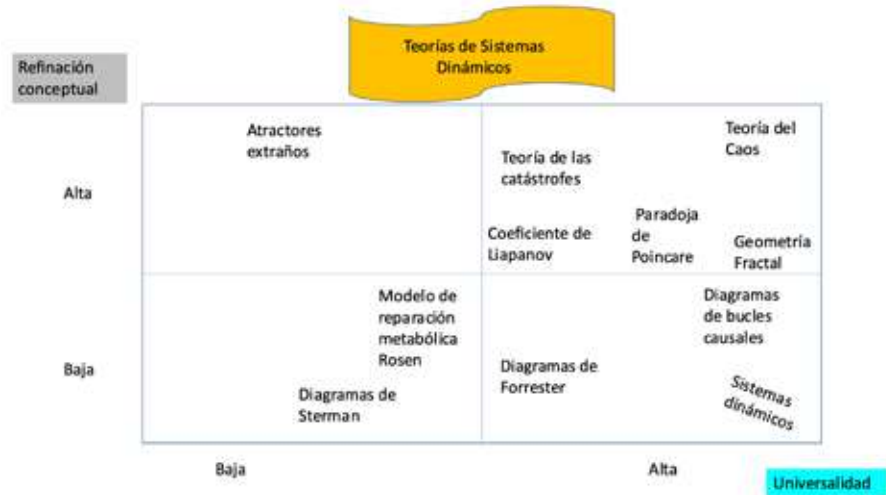
Figura 23. Modelo DURICA para medir el desempeño y la complejidad de un proyecto de construcción



Fuente: (Durón- González, , Rivas- Tovar , & Cárdenas- Tapia, 2022)

Para terminar este capítulo hemos considerado necesario hacer una recopilación de las teorías presentadas evaluándolas a la luz de su grado de refinación conceptual y su grado de universalidad.

La Figura 22, ilustra la matriz comprensiva LART de los conceptos fundamentales para entender los sistemas dinámicos.



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, los modelos de Reparación Metabólica, y los de Stermán por estar enfocados a un campo (Biología y Administración) se consideran menos universales. Los diagramas de Forrester, los sistemas dinámicos en general y los diagramas de bucles causales por su carácter universal se ubican en este cuadrantes de alta universal. Por su parte el precioso concepto de atractor extraño por su sofisticación matemática se ubica en el cuadrante de baja universalidad. Los sistemas dinámicos más universales esta por su complejidad conceptual matemática. Los coeficientes de liapanov, la paradoja de Poincaré que requirió casi 100 años es ser descifrada y la maravillosa geometría fractal que si bien es universal su concepción matemática es muy sencilla. La seductoras teoría de las catástrofes y teoría del caos representan en nuestra opinión la más alta jerarquía tanto por su sofisticación matemática como por su universalidad. Se aceptan criticas fundamentadas.

Capítulo 3.

Tercer Tributario: La Cibernética, la Cibernética de Segunda Generación, la Socio Cibernética y Vida Artificial

Por Cibernética se debe entender la disciplina científica que se ocupa de estudiar las formas de comunicación control y retroalimentación con máquinas creadas por los seres humanos que carecen de vida biológica. El afán de controlar a las máquinas gestión de las ordenes que reciben se apoya a parte iguales a la teoría de sistema y la teoría del control y a la teoría de sistemas. Los expertos en cibernética suelen ser observadores de la naturaleza y los organismos vivos y su adaptación al entorno e imitadores de lo que observan.

Cibernética viene del griego *kubernites* y es el timonel de una embarcación. El concepto Cibernética, sin embargo es muy antiguo y fue creado por Plantón en su libro: *Las leyes como un sinónimo del estudio del auto-gobierno* (Cynver, 2014).

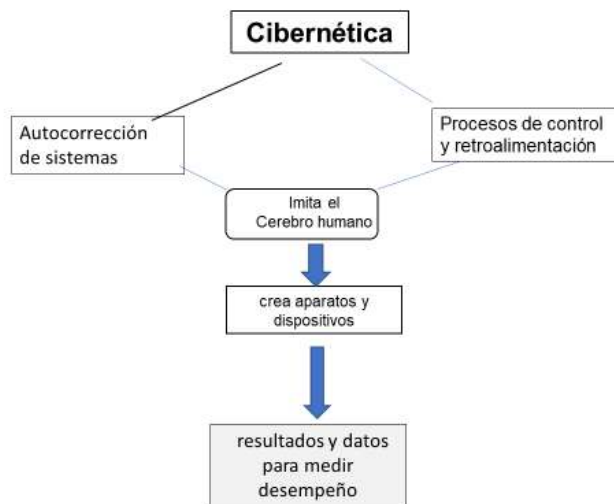
A partir de la década de los 50's, el movimiento cibernético se propuso construir una máquina que imitara al cerebro humano. Desde entonces la Cibernética evoluciono a ser un movimiento intelectual que busca traspasar la barrera entre la biología y la electrónica, y la mecatrónica. En la actualidad la palabra ha entrado en franco desuso y ha sido sustituida por la inteligencia artificial, las redes neuronales, la robótica y la vida artificial, los cuales son los temas de este capítulo.

LA TEORÍA CIBERNÉTICA (NORBERT WEINER)

Norbert Weiner fue el clásico niño genio. Terminó su Licenciatura de matemático a los 14, a los 17 concluyó otra carrera en Filosofía y a los 18 años se le concedió el Doctorado por la Universidad de Cambridge donde su profesor fue Bertrand Russel. Americano de padres lituanos y alemanes, su padre quién era también matemático lo educó desde pequeño en casa. Pese tu talento se le rechazó como profesor en Harvard por el antisemitismo dominante. Sin el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) le acogió y fue uno de sus héroes. Desde 1932 hasta 1960, también impartió cursos en numerosas universidades del mundo incluida la UNAM en México (Weiner, 2014). Durante la segunda guerra mundial apoyando al gobierno americano percibió la necesidad de mejorar las obsoletas computadoras

de la época y fue el creador del concepto Cibernética. Su libro “Cibernética: El control y comunicación entre maquina y animal”, resulto un sorpresivo *best seller* que popularizó el modelo cibernético por todo el planeta, dicho modelo se ilustra en la Figura 1.

Figura 1. El Modelo de Gestión Cibernético



Fuente: Elaboración propia

Un aspecto filosófico que no deja de ser contrastante con la formación de matemático y filosofo de Weiner, es que la información en un sistema cibernético se concibe como una forma de libertad y por lo tanto de desorden. Es el libre albedrio de las maquinas. El hombre entonces juega el papel de Dios y somete a la maquina a su control, con secuenciaciones y mecanismos que limitan su desorden intrínseco.

Según postula la segunda ley de la termodinámica, en todos los procesos naturales hay una tendencia a la entropía la desorganización y el caos. El orden es lo menos probable, y el caos es lo más probable. Por ello la Cibernética se erige como la única forma para preservar el orden deseado. Es como una especie de policía de las maquinas. La teoría del control es su biblia.

Si hay algo que genere mas ira a un humano es que un aparato no haga su trabajo y deje de funcionar para lo que fue diseñado. Nuestra respuesta suelen ser los golpes de ira o su envío al bote de la basura.

EL HOMESTATO (WILLIAM ROSS ASHBY)

A diferencia de la formación de la gran mayoría de los creadores de los conceptos fundacionales sobre la complejidad. Ashby era un médico neurólogo inglés que aportó el concepto de “inteligencia de amplificación” (Ashby, 1956). Creó un simpático cacharro llamado homeostato (1951) que si bien estaba a años luz del cerebro humano era un simpático dispositivo electrónico que era capaz de auto-regularse como resultado de procesos de retroalimentación.

Figura 2. El Homestato



Fuente: (Dreher, 2020)

Este cacharro era capaz de reproducir algunas actividades básicas del cerebro humano. Ashby en *Introducción a la Cibernética* expuso su propuesta lógica matemática, que lo convirtieron en pionero de lo que hoy es Inteligencia Artificial, que en su concepto era un autómata que apoyaría a la inteligencia humana sin sustituirla.

Sus críticos afirmaban el homeostato tenía poco de autónomo ya que necesitaba de un humano detrás para interpretar su actividad.

Sin embargo, Ashby solía decir que todas las tecnologías desde el ábaco, la escritura y la Internet, son instrumentos que apoyan el cerebro humano y por tanto inteligencia artificial. Una computadora en manos de un tonto genera tonterías y en manos de un ser inteligente puede producir hallazgos maravillosos.

PRIMERA COMPUTADORA (VON NEUMANN)

Otro de los matemático que más aportes realizó a la cibernética fue el húngaro judío Von Newman. A diferencia de Norbert Weiner que fue un acérrimo pacifista en los últimos años de su vida. Odiaba por igual a nazis y soviéticos y asumió la nacionalidad estadounidense con gran orgullo. En la Universidad de Berlín fue alumno de Einstein a la sazón profesor de esta universidad. Sin embargo, fue David Hilbert quién más influiría en su formación con sus grandes aportaciones a la teoría de conjuntos.

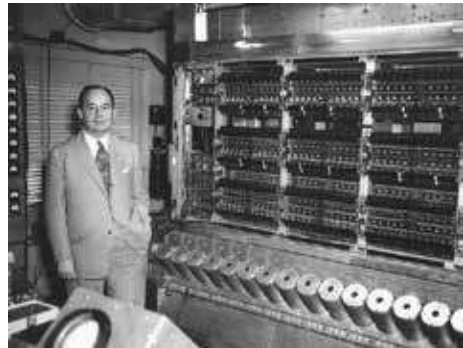
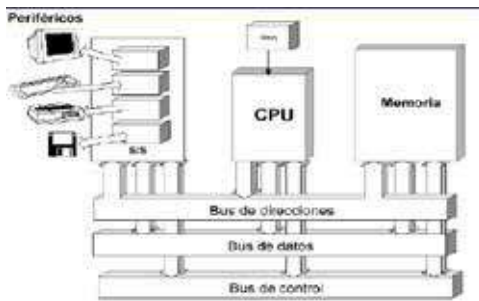
Von Neumann desarrolló una teoría a la que le dio el nombre de su venerado maestro: *los espacios de Hilbert*, que serían de gran utilidad en la mecánica cuántica.

Durante la guerra fría fue un anticomunista feroz, y puso al servicio del gobierno americano su inteligencia para crear la bomba de hidrógeno y los misiles balísticos que mantendrían una fuerte disuasión a los expansionistas soviéticos. Su investigación mejoro las computadoras electrónicas, mejorando la calidad de almacenamiento y procesamiento de datos. Desde 1929 estuvo invitado a la universidad de Princeton y las persecuciones contra los judíos, lo decidieron a exiliarse en Estados unidos en 1933 donde impresionaba a todos por su genio matemático. En la segura guerra mundial trabajo activamente en la construcción de la bomba atómica desarrollando el método de implosión. A pesar que trabajo en el desarrollo de la bomba H y fue partidario de la disuasión nuclear y qué moriría de cáncer de huesos por las radiaciones que le produjo su trabajo en los laboratorios del Alamogordo, después sería perseguido en el Macartismo.

Su computadora dio origen a la llamada Arquitectura Von Neumann que consta de un una unidad de procesamiento, una unidad aritmético lógica, los registros del procesador, la unidad de control, el registro de instrucciones, un contador de programa una memoria para almacenar datos y dispositivos de entrada y salida (Newman V. , 2014). En 1945 Neumann escribe el famoso *Fisrt draft report on EDVAC* que es la primera guía para computador de tipo binario y la primera capaz de almacenar un programa de cómputo. La EDVAlC se construyó en la Universidad de Pensilvania y además de Neumann participaron los diseñadores Presper Eckert u William Mau-

cuchy. Aunque se entregó a un laboratorio militar en el 1949, no comenzó a operar hasta 1951 y con diversas actualizaciones que incluyo tarjetas perforadas de entrada /salida en 1953, memoria en tambor magnético 1954 y unidad aritmético de punto flotante en 1958. Esta computadora requería 45.5 metros cuadrados y pesaba casi 8 toneladas. En la figura 3 se ilustra al sabio que gustaba vestirse siempre con se traje gris con el que aparece en la foto, al lado de su famosa arquitectura.

Figura 3. Computadora de Von Neumann.



Fuente: (Conde, 2011) y (Cardona, 2022)

CIBERNÉTICA DE SEGUNDA GENERACIÓN (HEINZ VON FORESTER)

Heinz Von Foerster de origen Austriaco se nacionalizó americano como muchos científicos europeos de su época. Fue el creador de la llamada *Cibernética de Segunda Generación*, al proponer en un congreso de la sociedad americana y posteriormente en su libro “Cibernética de la Cibernéticas” la idea que el observado del sistema cibernético debería ser incluido ya que su capacidad estaba influida por sus valores, ideología y que estos aspectos afectaban su capacidad de traducir correctamente la información del sistema cibernético. Esta idea tuvo una enorme influencia en las ciencias sociales , ya que por entonces se asumía erróneamente que los científicos son seres apolíticos y equilibrados que solo reportan fielmente lo que observan. Se acuñó el concepto *Conductas Eigen* para diferenciar a los sistemas autorreferenciales de los sistemas complejos. (Forester, Mora, & Amiot, 1960) .

Al proceso se lo denomino “*Cibernética de los sistemas de observación*”. Según Von Forester las diferencias entre una máquina trivial y no trivial radica en su *comportamiento cognitivo*. El comportamiento no trivial es independiente de ac-

tividades anteriores y por lo tanto impredecible. Forrester creó en la Universidad de Illinois, el Laboratorio de Informática Biológica, que fue uno de los primeros centros para el estudio de sistemas complejos (Von Forester, 1996).

Puesto que la cibernética aspira como ciencia a diseñar máquinas, se obliga a entender a dichas “máquinas” (sistemas) que pueden ser seres vivos, sistemas sociales o sistemas físicos. El concepto de no trivial es algo des usual que no es producto de la inercia o la casualidad. Lo trivial es un conocimiento o comportamiento conocida por la mayoría de las persona , es algo que no es importante

Lo no trivial por el contrario es un comportamiento único, singular que es resultados de diversas causas.

Para Forester los sistemas auto- referenciados no triviales tienen dos características: Su autonomía, ya que se gobiernan por leyes propias; y la de auto referencia.

La figura 4, ilustra el concepto del artista austriaco Escher quién la auto referencia a los máximos extremos de la sensibilidad y el arte. El observado se contempla así mismo y se analiza dentro del contexto que habita. El sistema en omnipresente y omnisciente de sus propias fortalezas y debilidades. Yo pertenezco al sistema pero me miro a la distancia. El sistema existe porque lo miro y mi pertenecía garantiza autonomía pero es dependiente de mí mismo.

Figura 4. Auto referencia



He olvidado mi nombre
He olvidado mi nombre.
Todo será posible menos llamarse Carlos.
¿Y dónde habrá quedado?
¿En manos de qué algo habrá quedado?
Estoy entre la noche desnudo como un baño
listo y que nadie usa por no ser el primero
en revolver el mármol de un agua tan estricta
que fuera uno a parar en estatua de aseo.
Al olvidar mi nombre siento comodidades
de lluvia en un paraje donde nunca ha llovido.
Una presencia lluvia con paisaje
y un profundo entonar el olvido.
¿Qué hará mi nombre
en dónde habrá quedado?
Siento que un territorio parecido a Tabasco
me lleva entre sus ríos inaugurando bosques,
unos bosques tan jóvenes que da pena escucharlos
deletreando los nombres de los pájaros.
Son ríos que se bañan cuando lo anochecido
de todas las palabras siembra la confusión
y la desnudez del sueño está dormida
sobre los nombres íntimos de lo que fue una flor.
Y yo sin nombre y solo con mi cuerpo sin nombre
llamándole amarillo al azul y amarillo
a lo que nunca puede jamás ser amarillo;
feliz, desconocido de todos los colores.
¿A qué fruto sin árbol le habré dado mi nombre
con este olvido lívido de tan feliz memoria?
En el Tabasco nuevo de un jaguar despertado
por los antiguos pájaros que enseñaron al día
a ponerse la voz igual que una sortija
de frente y de canto.
Jaguar que está en Tabasco y estrena desnudez
y se queda mirando los trajes de la selva,
con una gran penumbra de pereza y desdén.
Por nacer en Tabasco cubro de cercanías
húmedas y vitales el olvido a mi nombre
y otra vez terrenal y nuevo paraíso
mi cuerpo bien herido toda mi sangre corre.
Correr y ya sin nombre y estrenando hojarasca
de siglos.

	<p>Correr feliz, feliz de no reconocerse al invadir las islas de un viaje arena y tibio. He perdido mi nombre. ¿En qué jirón de bosque habrá quedado? ¿Qué corazón del río lo tendrá como un pez, sano y salvo? Me matarán de hambre la aurora y el crepúsculo. Un pan caliente —el Sol— me dará al mediodía. Yo era siete y setenta y ahora sólo uno, uno que vale uno de cerca y lejanía. El bien bañado río todo desnudo y fuerte, sin nombre de colores ni de cantos. Defendido del Solo con la hoja de toh. Todo será posible menos llamarme Carlos. (Pellicer, 1981)</p>
--	--

Fuente: (Escher, 1935) . (Pellicer, 1981)

En la cibernética los conceptos de circularidad, información, metas, retroalimentación y regulación son imprescindibles para comprender la red de la disciplina del sistema y las fuerzas que lo empujan a la entropía, al azar, al desorden y el ruido. Estos conceptos son necesario para entender un sistema mecánicos, borococo o social. Donde destacan su autonomía y su autorreferencia (Forester V. H., 1991).

Como ya se mencionó la diferencia fundamental el primer y el segundo orden de la cibernética radica en *la inclusión del sujeto observador*, esto transformó a la cibernética no solo en una ciencia de máquinas sino en una variedad epistemológica interesada en el conocimiento de la realidad, sus fronteras, condiciones y barreras para comunicar y aportar conocimiento entre un ente sin complejidad biológica y un ser humano. Los sistemas de segundo orden por lo tanto tienen capacidad autorreferencial y auto lógica. Además de su aportación a los sistemas de información, la computación, la robótica, la cibernética de segundo orden, ha hecho grandes aportes a la neurofisiología, y la epistemología.

LÓGICA DIFUSA Y EL PENSAMIENTO BORROSO

Este es uno de los conceptos más estimulantes de los sistemas complejos. De acuerdo al Diccionario de la Real Academia española, lo difuso es *..” algo vago e impreciso.”* El concepto y la idea de lo difuso de lo vago es contrario a la lógica de Aristóteles. La lógica clásica se sustenta en dos principios: 1) principio del tercero excluyente. Toda proporción es verdadera o falsa y no hay más opciones 2) prin-

cipio de la no contradicción. No puede haber una posición que sea verdadera y falsa a la vez.

La lógica es una de las disciplinas torales desde la antigüedad en la cultura occidental, por el contrario en la filosofía oriental, más profunda y rica, desde Buda, y Lao-Tse se postula la idea *de la unidad de lo opuesto, la búsqueda del uno entre divergencias*. Puedo ser yo y mi circunstancia aún perdido de contradicciones que me definen. El Yin y el Yang que es uno de los postulados más firme de la filosofía de oriente se acepta con naturalidad que la verdad tiene grados y por lo tanto no es una categoría dicotómica de elección obligada. No hay un sí, sino matices de la afirmación. Es como un color azul intenso que se difumina y al perder su intensidad de azul continua siéndolo. Se pueden ser azul en diferentes tonos.

El asunto de la vaguedad, lo difuso y lo borroso, comenzó a preocupar a los filósofos. Bernard Russel, en una conferencia provocadora analizó el concepto de *Vagueness, o Fuzziness*, que suele traducirse al español como Borrosidad. Según Russel, en el lenguaje todo es vago y uno no sabe en qué medida hasta que se da a la tarea de especificarlo (Russel, 1923).

En algunas culturas latinas ser vago o impreciso forma parte integral de la conducta social. Los gallegos y los mexicanos son famosos por esa ambigüedad. En México si uno pregunta a un transeúnte, si queda cerca el museo de Antropología, por decir algo. Puede recibir esta respuesta. ...” Lejos, no está, aunque tampoco está cerca.”

De hecho nuestro día a día está lleno de frases ambiguas. ... “mi jefe no me cae ni bien ni mal.”; A mi novia la quiero, aunque no tanto.” La salsa ranchera si pica, aunque no mucho”. “Soy feliz, aunque no demasiado”. “que gusto verte, luego nos hablamos” “Sobre petición de ascenso, luego lo platicamos” “En relación a tu aumento de sueldo, luego lo vemos. ¿Va?”. “Si me gusta pero poquito...”. La lista de ejemplos es larga.

La falta de certeza absoluta es en realidad lo único de lo que estamos seguros.

Ser ambiguo no nos compromete en ningún sentido. Ser deliberadamente vago es un recurso muy usado en los procesos de negociación y la política: “*Aceptamos su pliego petitorio siempre y cuando hagan concesiones también.*”. “*Nos gustaría aceptar su propuesta siempre ustedes sean más flexibles...*”. Ser deliberadamente vago es un estrategia exitosa. Sugiere adaptarse a las circunstancias de manera permanente. La comprensión de nuestra acciones y al contexto por lo tanto recla-

ma ajustes permanentes. La flexibilidad y la adaptación garantiza nuestra supervivencia y renueva nuestro estatus.

Lo difuso y la incertidumbre se ha usado siempre, y al menos desde el siglo XIX ha existido un esfuerzo para medirla. El uso de la probabilidad pareció ser un mecanismo válido. Su principal limitación es que los sistemas probabilísticos están basados en la repetición de un evento y su frecuencia. Si las causas son múltiples, estos sistemas tienen problemas para medir dicha probabilidad. Podemos suponer por ejemplo que si sabemos la frecuencia con la que ha llovido un día 15 de marzo en los últimos 100 años ha sido el 85% de los casos, la probabilidad sería de 0.85 y supondríamos que lo más seguro es que llueva. Sin embargo, el clima es un fenómeno complejo que tiene ciclos no deterministas por lo tanto la lógica difusa es más útil. Afirmar: Lo más seguro es que llueva. Pero nunca se sabe, sería una acertada predicción difusa.

Existen también métodos alternativos para medir la incertidumbre de tipo cualitativo que muchas veces son muy válidos. En mi pueblo si veo las nubes muy negras supongo que va a llover, sin embargo, cuando le pregunto a Don José si lloverá él me contesta. .."No lloverá porque cuando llueva me duelen las rodillas y hoy , no me duelen".

La Lógica Borrosa es también conocida como "Lógica Heurística Lógica divergente o Lógica Multivaluada. A veces resumida solo el acrónimo MVL (Garrido, 2016). Lo borroso es un continuo de matices entre negro y blanco o viceversa.

La incertidumbre Se pretendió de explicar por métodos no probabilísticos como el propuesto por Dempster – Shafer que utiliza y mide los grados de creencias con Intervalos que representan el fenómeno a estudiar (Gonzalez, 2011).

Sin embargo, diferentes matemáticos filósofos hicieron abordajes de interés dentro de los que cabe mencionar la borrosidad de lo semántico de Alfred Tarski (1902-1983), Jan Lukasiewicz en 1920 propuso que la verdad tiene tres grados y no dos. El sí o no son muy limitados. Por ello propuso una verdad indeterminada con valor de 0.5. El físico Werner Heisenberg conmovió la física de su época al proponer el principio de incertidumbre, el físico y filósofo Max Black (1937), propuso una modelación de la vaguedad, mediante curvas en forma de U que permiten analizar tanto una palabra como un símbolo usando conjuntos difusos- Con esta influencia en el año de 1965 el ingeniero y matemático, de origen azerbaiyano-persa llamado Lotfi Zadeh, propuso en su artículo clásico el concepto moderno de lo borroso, incorporado variables lingüísticas y conjuntos difusos. Este hombre pequeño de estatura y con una deslumbrante intuición y cultura, tuvo una

formación multinacional y era “ muy difuso”. Nació en Azerbaiyán, y luego se fue a Irán, donde se graduó como de Ingeniero en la prestigiosa Universidad de Teherán. Posteriormente llevó su talento a Estados Unidos atraídos por su prestigio y los recursos que gestionan las universidades americanas rankeadas siempre entre las mejores del mundo. Allí estudio en el MIT, y posteriormente en la Universidad de Columbia. Dicto clase en la Universidad de California (Berkeley) donde se volvería un referente. Hablaba con fluidez ruso, persa e inglés. Con este espectacular acervo cultural creó varios conceptos relevantes entre los que destaca. El *razonamiento aproximado*, que propone valores lingüísticos como *subconjuntos borrosos* (Zadeh, 1965).

Si bien el propósito inicial de Zadeh era gestionar la imprecisión y vaguedad del razonamiento humano al hablar, sus propuestas no tuvieron eco, y fueron criticadas acremente por científicos de su época. Zahed refiere la anécdota que se reunión con ejecutivos del IBM le dijeron que a su descubrimiento

..“no le veían ninguna aplicación práctica”. En Japón sus ideas, fueron atendidas y se aplicaron con un éxito deslumbrante al control automático de procesos.

La gestion de la incertidumbre que siempre había sido una preocupación en la ciencia dada las grandes limitaciones de la Teoría de la probabilidad, por ello la evaluación *de lo difuso* en rangos más amplios de análisis ha propiciado que lo probable y lo difuso *no sean utilizados más como si fueran sinónimos* y gracias a las aportaciones de Zadeh existe ya una sana distancia metodológica. La probabilidad y lo difuso son distintos.

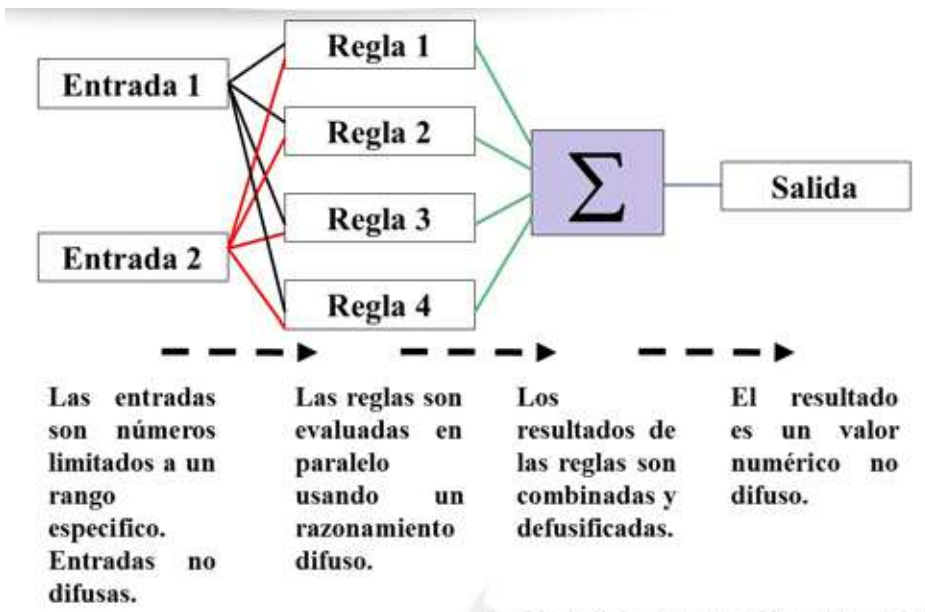
La lógica difusa sin embargo, no es un acertijo, su poder se basa en la gestión comprensible de los aspectos ambiguos que existen en la naturaleza y la sociedad y se han trasladado a las ordenes más simples que debe realizar un electrodoméstico como una aspiradora, un termostato, un ventilador o el enfoque de una cámara de fotografía. La Lógica difusa ha permitido modelizar lo ambiguo y enfrentar la incertidumbre.

Según (Olivas, 2015) a partir del año 1974 apareció el primer controlador borroso para una máquina de vapor. En 1983 se usó en Japón para el control químico de las plantas purificadoras de agua. En 1987 aparecen los primeros controladores borrosos y actualmente se usan en los electrodomésticos, en el control de aire acondicionado de los autos premium, en los aviones, los ascensores y las espectaculares cámaras fotográficas que se añaden a los teléfonos que usamos todos los días.

La lógica difusa ha creado distintos símbolos para describir lo borroso, los más típicos son trapezoidal, lineal y curvas. Las reglas heurísticas que utiliza la lógica borrosa son del tipo: *Sí pasa esto (antecedente). ENTONCES (consecuencia). Sí afuera del auto hace mucho calor ENTONCES*, el sistema de aire acondicionado bajará la temperatura para mantener estable la temperatura interior de mi auto (Gerla , 2005). Puesto que la lógica difusa se aplica a maquinas, las reglas deben ser sencillas y eficientes.

Los datos son recogidos por sensores. En la figura 5 se ilustra el proceso de la creación de reglas difusas.

Figura 5. Proceso de Creación de Reglas Difusas



Fuente: (Diseño Mecatrónico - Mechatronics Technician Summary Design , 2018)

Los sistema de control difuso tienen la característica de basarse en pruebas de ensayo y error. El proceso general es el siguiente:

1. Documentar las especificaciones e insumos operacionales del sistema y sus salidas.
2. Documentar los conjuntos difusos para las entradas.
3. Documentar el conjunto de reglas difusas usando las reglas heurísticas del tipo: Si, entonces...

4. Determinar el método de interpretaciones lo difuso.
5. Ejecutar pruebas para validar el sistema y realizar ajustar.
6. Creación de un libro de códigos

Ejemplo de Aplicación de Lógica Difusa al Diseño de un Cuestionario

A continuación se ilustra el diseño de un cuestionario de investigación para medir el impactos social de la energía eólica en el Istmo de Tehuantepec publicado en la prestigiosa revista Energy Strategic Reviews usando lógica difusa con la autorización de los autores de los que soy parte.

El cuestionario se diseñó considerando las características de los sujetos de estudio que aunque son grandes conocedores de la zona tienen una formación educativa básica y suelen dar y recibir respuestas ambiguas al responder. El cuestionario buscaba estudiar el impacto que ha tenido la instalación de aerogeneradores en el Istmo de Tehuantepec Oaxaca en las dimensiones: Ambiental, Económico y Social. *Es importante destacar que el diseño de los ítems se enfocó a la actividad agrícola, mejoramiento de los sistemas de riego, situaciones de conflicto y tensión, tomando en cuenta las particularidades del área de estudio de acuerdo con recomendaciones de académicos locales entrevistados. Debido a consideraciones locales, estas preguntas fueron:*

A) ¿La comunidad estaba conociendo los beneficios y riesgos de la energía eólica, y la comunidad estaba adecuadamente informada sobre los beneficios de la energía eólica para la naturaleza? Porque, en base a las recomendaciones de académicos locales, la primera pregunta se relaciona con los beneficios económicos y la construcción de infraestructura social a partir del pago de impuestos o regalías; mientras tanto, en la segunda pregunta, se hace hincapié en los beneficios ambientales.

B) El cuestionario consta de 16 ítems, en un rango de 1 a 5 (1 representa “muy de acuerdo” o “muy bonito” y 5 “muy en desacuerdo” o “muy feo”). Para analizar los datos recopilados y reducir la ambigüedad entre las respuestas de los encuestados, se utilizó la teoría de conjuntos difusos, así como la similitud (SIM) entre conjuntos difusos, tal como la utiliza (Turksen, Turksen., & Wilson., 1994).

El cuadro 1 muestra los ítems del cuestionario, las variables analizadas y el rango de medida. Los datos se introdujeron en MS Excel® y se analizaron utilizando el método de lógica difusa.

Cuadro 1. Elemento del Instrumento

<i>Impacto</i>	<i>Item</i>	<i>Escala</i>	
<i>Ambiental</i>	<i>Considero que los efectos del parque eólico en el ganado</i>	<i>No son dañinos</i>	<i>Muy dañinos</i>
	<i>Considero los efectos de los parques eólicos en la vida silvestre</i>	<i>Totalmente inofensivos</i>	<i>Muy riesgosos</i>
	<i>Para mí, los parques eólicos son:</i>	<i>Muy bonitos</i>	<i>Muy feos</i>
	<i>Cuando paseo por los parques eólicos me siento...</i>	<i>Muy seguro</i>	<i>En riesgo</i>
	<i>Para mí, los parques eólicos son:</i>	<i>Silenciosos</i>	<i>Muy ruidosos</i>
<i>Economico</i>	<i>La construcción de un parque eólico ha traído más dinero al pueblo</i>	<i>Totalmente en desacuerdo</i>	<i>Totalmente de acuerdo</i>
	<i>La instalación de parques eólicos ha traído más puestos de trabajo al pueblo</i>		
	<i>Los parques eólicos, ofrecen oportunidades de ganarse la vida sin emigrar del pueblo.</i>		
	<i>La energía eólica, ha favorecido el mejoramiento de los sistemas de riego</i>		

<i>Social</i>	<p><i>La comunidad fue bien informada sobre los planes de construcción de parques eólicos</i></p> <p><i>Se informó adecuadamente a la comunidad sobre los beneficios de la energía eólica</i></p> <p><i>La comunidad fue informada adecuadamente sobre los beneficios de la energía eólica para la naturaleza.</i></p> <p><i>Hay obras de beneficio a la población de parte de empresas eólicas</i></p> <p><i>Las empresas de energía eólica han contribuido a mejorar la actividad ganadera</i></p> <p><i>Creo que tengo derecho a solicitar información sobre las empresas de energía eólica y los impactos de los parques eólicos.</i></p> <p><i>La instalación de parques eólicos en mi pueblo ha traído tensión y conflictos</i></p>	<i>Totalmente en desacuerdo</i>	<i>Totalmente de acuerdo</i>
---------------	---	---------------------------------	------------------------------

Esta investigación se desarrolló siguiendo el método utilizado por (Lazim & Wahab, 2010) implementando las fases que se resumen a continuación:

Fase I: Criterios de desempeño

1. Establezca un número difuso triangular A basado en las respuestas del cuestionario (Tabla 2). El conjunto de números difusos para los términos lingüísticos definidos y presentados en la Tabla 3.

Definición 1. El conjunto difuso \tilde{A} en el universo de discurso X tiene una función de pertenencia $\mu_{\tilde{A}}(x)$ asociada a cada elemento x en el intervalo entre [0, 1]. La función $\mu_{\tilde{A}}(x)$ adopta un valor llamado grado de pertenencia de x en \tilde{A} -

2. Calcular la evaluación general del juicio difuso

$$A_{ij} = \left(\frac{1}{m}\right) \otimes (A_{ij}^1 \oplus A_{ij}^2, \dots, \oplus A_{ij}^m)$$

donde es la es la multiplicación de números borrosos, es la operación de suma de números borrosos y A_{ij} la valoración del desempeño promedio general i bajo el criterio j sobre m personas-

Obtenga el punto final de los números difusos, A_{ij}

$$A_{ij} = (LA_{ij}, MA_{ij}, UA_{ij})$$

donde LA_{ij} , UA_{ij} son los puntos finales y MA_{ij} es el punto medio de los números difusos.

Para señalar que alguna variable del desarrollo de la energía eólica clasificada como buena o mala, se requiere el des-fuzzing de la información. Defuzzification como técnica para convertir el número difuso en números reales nítidos. El procedimiento de defuzzificación consiste en localizar el valor de Mejor rendimiento no difuso (BNP)

$$BNP_{ij} = \left[(UA_{ij} - LA_{ij}) + (MA_{ij} - LA_{ij}) \right] / 3 + LA_{ij}$$

(4) para los valores a_1 , a_2 , a_3 se asigna un número difuso

5. Los criterios se clasifican en función de los valores de BNP. El criterio de tener mayor

Se considera que el valor de BNP tiene un mayor impacto en comparación con los hallazgos encontrados por (Vinodh, Prasanna, & Hari Prakash, 2014).

Fase II. Nivel y grado de satisfacción

1. En esta fase, determinamos la percepción de la energía eólica. Puede ver los detalles en (Lazim & Wahab, 2010).

El cuadro 3 muestra los términos lingüísticos utilizados y su caracterización mediante un número difuso triangular para representar su rango de valor aproximado entre 0 y 5, y se capturan como a_1 , a_2 y a_3 , donde $0 \leq a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq 5$. El valor de a_2 es el valor más probable del término lingüístico, y a_1 y a_3 son los rangos inferior y superior utilizados, respectivamente, para reflejar la falta de claridad del término.

Cuadro 2. Números difusos triangulares y escala Likert

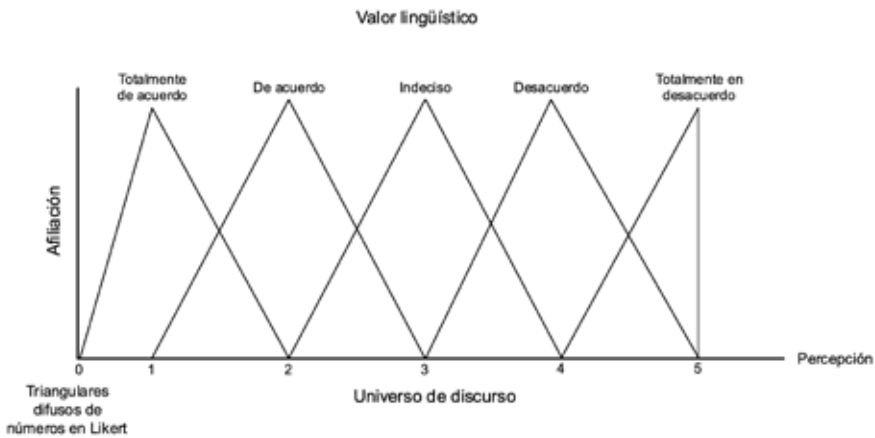
Termino lingustico	Código	Importancia relativa	Universo de clausura			Numero triangular Fuzzy (TFN)
Totalmente en desacuerdo (muy malo)	MM	5	4	5	5	(4,5,5)

<i>En desacuerdo (malo)</i>	<i>M</i>	$\bar{4}$	3	4	5	(3,4,5)
<i>Indeciso (Indiferente)</i>	<i>I</i>	$\bar{3}$	2	3	4	(2,3,4)
<i>De acuerdo (Bueno)</i>	<i>B</i>	$\bar{2}$	1	2	3	(1,2,3)
<i>Totalmente en desacuerdo (Muy bueno)</i>	<i>MB</i>	$\bar{1}$	0	1	2	(0,1,2)

Fuente: Elaboración propia

La Figura 6 ilustra los conjuntos difusos utilizados. El mapa del discurso se presenta en el cuestionario usando una escala difusa tipo Likert.

Figura 6. Conjuntos Difusos



2. Obtenga el valor $w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}$ para cada encuestado, donde w es una proporción del valor lingüístico de la respuesta "v" al total del valor lingüístico de todos los encuestados.

3. Defina el valor de la función de pertenencia, $\mu_i(x) = \sum_{i=1}^n w_i x_i$ donde X_i representa el i -ésimo nivel lingüístico de los encuestados, W_i es la fuerza de las respuestas.

4. Obtenga el nivel y grado de satisfacción

$$SIM(B(y, m), B(y_i, m)) = \frac{1}{1 + \sqrt{\sum \mu_{B^*}(y_j, m) - \mu_B(y_j, m)^2}} \quad (5)$$

La ecuación 5 representa al conjunto difuso definido para la calificación con difusión lingüística, y B su valor global de acuerdo a las funciones de pertenencia.

3. Resultados

El cuadro 3 describe los resultados de los elementos recopilados y analizados mediante el método de (Lazim & Wahab, 2010). Según SIM, los sujetos entrevistados se auto define Como no informada en estos aspectos.

Cuadro 3 Resultados del Likert fuzzy como método de investigación

Item	BNP [†]			SIM Percepción	Impactos
	Valor	dentro Ranking	Global		
Ruido	3.69	1	1	mala	Ambiental
Seguridad	3.34	2	4	mala	
Paisaje	3.21	3	6	mala	
Aves	3.19	4	7	mala	
Ganado	2.87	5	10	mala	
Mas oportunidades	3.58	1	2	desacuerdo	Economico
Más trabajos	3.08	2	8	desacuerdo	
Más dinero	3.07	3	9	desacuerdo	
Major rieho	1.95	4	12	desacuerdo	
Información cuidado naturaleza	3.57	1	3	desacuerdo	Social
Información beneficios Eolica	3.31	2	5	desacuerdo	
Información planes de construcción	3.19	3	7	desacuerdo	
Fuente de conflictos	2.2	4	11	Totalmente de acuerdo	
Beneficios actividades culturales	1.95	5	12	De acuerdo	
Derecho a la información	1.52	6	13	De acuerdo	
Infraestructura social	1.15	7	14	Totalmente de acuerdo	

†A partir de la Ecuación (4)..."

El tema más importante para los entrevistadores es el ruido ambiental (primer puesto en BNP global). Piensan que el ruido que generan los parques eólicos les perjudica. Durante la encuesta, muchos de ellos dijeron que había demasiado ruido por la noche e interrumpía el sueño. ..” (Mendoza- Martínez E., Rivas-Tovar , & Lambert, 2020)

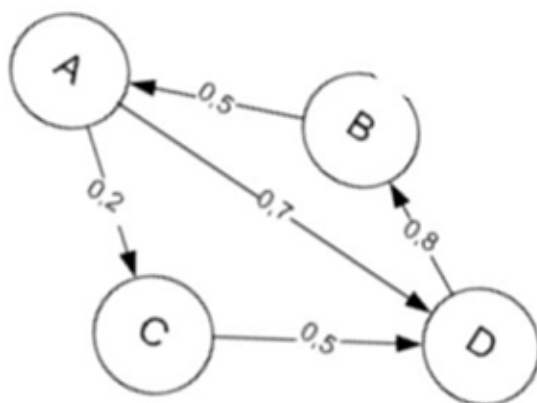
Entre los principales precursores del pensamiento difuso destaca Bart Kosko era Ingeniero Eléctrico y estudio Derecho, licenciaturas en Filosofía y en Ciencias Económicas, Maestría en Matemáticas Aplicadas, Doctorado en Ingeniería Eléctrica. Escribió el best-seller internacional, *Fuzzy Thinking*. (Pensamiento difuso). Sus aportaciones además de la lógica difusa, abarcan las redes neuronales, y análisis de ruido. Es creador de varios conceptos relevantes: mapas *cognitivos difusos*, *sistemas aditivos difusos* y *medidas de falta de claridad*. En la teoría de redes, Kosko introdujo el concepto llamado “*sinapsis diferencial*”⁹. En el análisis de algoritmos de aprendizaje-neuronales que permiten establecer el nivel óptimo de en sistemas no lineales ara mejorar su rendimiento (Franzke & Kosko, 2011).

Una de aportaciones más originales son los mapas cognitivos de Kosko que usan una red dirigida con. ponderaciones donde los nodos puede presentar conceptos y los vínculos relaciones de causalidad.

Gráficamente son muy similares a los diagramas sagitales que se usan en la investigación determinista con la diferencia que las relaciones causales se indican con un ($> \circ$) cuando la causalidad es positiva y con ($< \circ$), cuando la causalidad es negativa. Cuando no hay asociación se usa ($= \circ$). Otra opción más practica es denotar la asociación con números tal como se ilustra en la, figura 7 .Los mapas de Kosko se consideran una extensión de teoría de los sistemas grises

9. La sinapsis describe la unión entre neuronas. Proviene del griego y significa *estar unidos con fuerza*.

Figura 7. Mapa Cognitivo Difuso



Fuente: (Vera-Mora, Gleyva-Vásquez, , & León-Acurio, 2018)

Cuando se estudia a más de tres individuos se construye una matriz de adyacencia con la media aritmética de las correlaciones de los enlaces usando la fórmula 1 (Kosko, 1998).

$$E = \frac{(E_1 + E_2 + \dots + E_k)}{k}$$

Este es un concepto recurrente en la ciencia moderna desde la postulación de principio de incertidumbre de Heisenberg, diversos científicos se han ocupado de caracterizar el continuo-espectro entre lo falso y lo verdadero. La idea de lo borroso resulta seductora porque es uno de los grandes pilares de la complejidad: Lo incierto, la incertidumbre, lo difuso. En la ciencia tradicional lo borroso suele asociarse a la polivalencia o lo ambivalente y es considerado poco científico ya que el paradigma de la busca de la evidencia empírica pura y dura orienta los diseños de investigación.

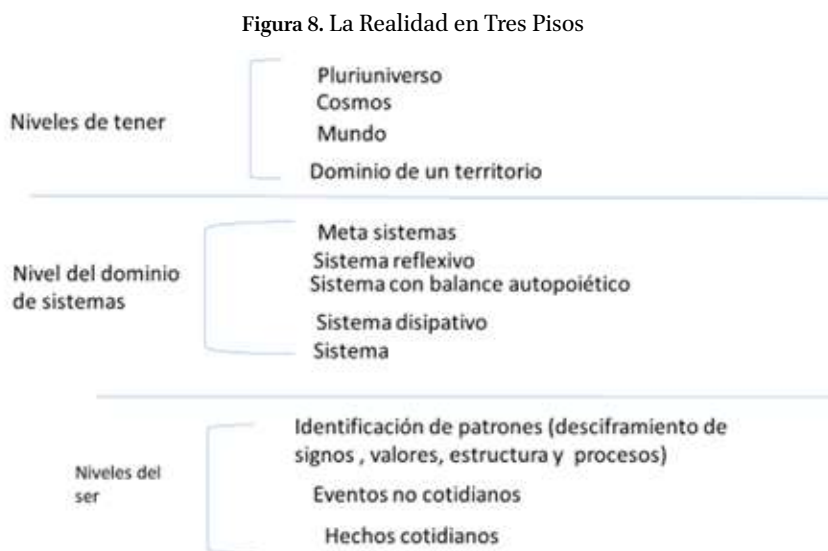
La lógica borrosa presenta paradojas de auto-referencia que son medias-verdades. Literalmente mitad verdad y mitad mentira. Las paradojas son la regla y no la excepción. Este enredo lingüístico parece para más propio de políticos que de un científico y parecen ideas aparentemente disparatadas, sin embargo, dieron origen a la creación de máquinas que tienen rangos de actuación no definidos.

LA REALIDAD DE TRES PISOS (GEORGE KLIR)

George Klir Checo de nacimiento fue el creador del concepto de jerarquía epistemológica, el cual distingue tres niveles: el disipativo, el Autopoietico y el reflexivo. Estos sistemas dan origen a una jerarquía adicional: la jerarquía ontológica.

La jerarquía ontológica se divide en baja, media y las jerarquías superiores. La jerarquía superior, está asociada al lenguaje. La jerarquía baja, por debajo del sistema, es esencialmente una realidad perceptiva o epistemológica pre-verbal. Por último, la jerarquía media de sistemas especiales jerarquiza procesos por su grado de la complejidad, de auto-organización, a la auto-toma y de auto-descripción.

Según Klir en la realidad hay tres pisos: El *nivel de ser*. Que son los hechos cotidianos para la mayoría de las personas. El nivel medio asociado a la comprensión de sistemas de tres tipos: Disipativo, de balance autopoietico y de sistemas reflexivos. El nivel alto supone la comprensión del mundo, del cosmos y del universo. La Figura 8 ilustra estos tres niveles.



Fuente: (Klir, 1991)

El nivel superior y el inferior están estrechamente interconectados en el concepto chino del Tao.

Este principio del Tao es difícil de definir ya que depende del contexto que puede ser filosófico, cosmológico, religioso o moral . Puede significar camino o

vía pero es también la esencia del universo y su vínculo con el ser humano . Los japoneses le llaman Do. El Tao es la ley de todo. (Klir, 1991).

George Klir además de sus reflexiones sobre la jerarquía del aprendizaje y la realidad realizó una investigación pionera sobre lógica difusa usando modelado, simulación de sistemas, sistemas inteligentes y conjuntos difusos.

Sus libros más importantes son los siguientes:

1. 2006: Incertidumbre e información: Fundamentos de la Teoría de la información generalizada, John Wiley, Hoboken, Nueva Jersey.
2. 1997: teoría de conjuntos difusos: Fundamentos y Aplicaciones, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, Nueva Jersey (con U. St. Clair y B. Yuan).
3. 1988: Conjuntos Difusos, incertidumbre e Información, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, NJ (con T. Folger). Traducción japonesa: UNI, Tokio, 1993.

LA VIDA ARTIFICIAL (CHRISTOPHER LANGTON)

Es un científico estadounidense especialista en informática de la izquierda científica norteamericana. Al negarse a ir a la guerra de Vietnam como objetor de conciencia fue castigado a laborar en un hospital de Massachusetts cargando cadáveres, lo cual le aportó sus primeras reflexiones sobre la posibilidad de vida artificial. Su tesis doctoral despertó mucho interés por su provocador título: “La vida al filo del caos”. Es el creador del *concepto vida artificial*. Langton sostiene los sistemas complejos tienen un margen muy reducido para evolucionar ya que la vida no es un suma de materias sino un sistema organizado y activo. La vida para pasar de la química a la biología requiere la capacidad de hacer copia de sí misma, lo cual supone miles de millones de años de procesos evolutivos.

Las aportaciones de Langton aunque son muy amplias, se centran en su primera época en modelos computacionales aplicados a diversos problemas de información, computación y reproducción asociados con la complejidad y la física en especial a las transiciones de fase.

Langton fue también uno de los pioneros en diseñar autómatas celulares y postuló algo que hemos ya mencionado en el capítulo 1 que los sistemas complejos biológicos son intrínsecamente inestables y se debaten toda la vida entre el orden y el desorden en su afán de adaptarse al entorno.

En la vida Artificial la Hormiga de Langton es un símbolo así como su famoso bucle Langton las cuales son simulaciones de vida artificial.

Actualmente es director del programa de vida artificial en el Instituto Santa Fe. Su libro Langton, C. G. (1997). *Artificial Life: An Overview*. Cambridge, MA: MIT Press es considerando un compendio de su obra.

Vida Artificial

La palabra Alife es un americanismo abreviado para denotar *Artificial Life*. Este nuevo campo busca explorar las fronteras de los principios de la Biología aplicados a los sistemas computacionales y se considera por tanto una transdisciplina o dicho de manera filosófica: una ciencia de convergencias.

El concepto de vida artificial ha planteado cuestiones filosóficas de fondo. Como se ha mencionado antes la Vida no surge a consecuencia de intercambios químicos o de energía sino de la capacidad de un ser de organizar sus procesos biológicos que permitan ser capaces de generar copias de sí misma. Todo el tiempo la vida lucha con el desorden de la entropía cuya expresión más extrema en la muerte. La vida genera interacciones y propiedades tales como el metabolismo, la reproducción, que se traduce en robustez y la evolución.

Definición de Vida Artificial

Es el estudio de los sistemas biológicos modelados con simuladores de sus propiedades e interacciones que emulan las propiedades biológicas de los sistemas vivos

¿Cuál ha sido la evolución de la vida artificial?

La ciencia de la vida artificial ha evolucionado a la par de la potencia de los simuladores que replican los mecanismos de los sistemas vivos. A mayor capacidad de las computadoras, mejores representaciones de vida artificial se producen.

Cuando la computadoras no pueden avanzar más solo nos quedaba la filosofía para responder las tres grandes cuestiones: ¿Quiénes somos? ¿De dónde venimos? y ¿A dónde vamos?.

Ahora los experimentos en computadoras realizados con el software desarrollado de vida artificial han creado nuevas respuestas.

¿Qué principios siguen la vida artificial?

Puesto que es muy difícil realizar experimentos para estudiar la evolución humana y animal en grandes espacios de tiempo, la vida ha apoyado con sus simuladores para entender ocurrido a un ser vivo o una especie en grandes periodos de tiempo.

Los principios de la vida artificial supone que ésta ocurre en un espacio del tiempo, tiene la capacidad de auto - reproducirse y hacer copias de sí misma, almacenar información que la auto representa, desarrollar sistemas metabólicos para convertir la materia en energía y a partir de esta energía interrelacionarse con su entorno, generando interdependencia con otros seres vivos, manteniendo siempre la habilidad de evolucionar crecer y expandirse. Así mismo, se espera que en algún momento se establezca ante perturbaciones del medio ambiente y muera.

Según (Valdiosera, 2015) ..” *el ABC de la vida artificial es: lo Adaptativo, lo Bio-inspirado y lo Complejo.*”

Para resultar validos los modelos de vida artificial deben ser capaces de capturar la complejidad de los seres vivos, aunque sea de una manera incipiente.

¿Cuántos tipos de vida artificial existen?

Es muy difícil precisar cuántos tipos de vida artificial existen ya que en teoría hay tantos como forma de vida hay.

Según (Gershenson, 2014) es posible clasificar a la vida artificial en tres categorías: *La vida artificial suave* asociada a simulaciones en software con propiedades de sistemas vivos. *La vida artificial dura* vinculada al diseño de robots y hardware que emulan sistemas biológicos. *La vida artificial húmeda* que partiendo de la química crea “proto células” con características similares a las células vivas.

Según (Herran, 2015) dentro estas variedades de vida artificial: *Los sistemas complejos adaptativos*, han dado origen a una nueva generación de sistemas expertos, capaces de aprender y evolucionar.

Los *autómatas celulares*, suelen imitar lo que hacen las células haciendo uso en programas iterativos de computadora.

Los agentes autónomos, usados en aplicaciones de búsqueda. Los robots adaptativos que desarrollan comportamientos de adaptación con el entorno.

La computación cuántica, emula las propiedades cuánticas de átomos y sus interacciones.

La computación evolutiva que describe conductas futuras de un ser vivo resultado de su evolución.

Un ejemplo clásico es la famosa hormiga de Langton, que puede ser descrita como una *máquina de Turing* que tiene un resultado emergente complejo. Ver figura 8.

Figura 8. La Hormiga de Langton



Fuente: (La Morsa, 2014)

- Una máquina de Turing hace una gestión de símbolos mediante reglas y algoritmos de computadora. La máquina recibe el nombre de su creador, el genio matemático inglés cuya fascinante vida ha sido llevada al cine y recientemente fue nombrado a título póstumo Sir por el trato vergonzoso que recibió en vida debido a su orientación sexual del gobierno inglés a quien sirvió tan lealmente y le obligó a la castración química. En el capítulo 7 haremos una detallada descripción de este artefacto.

¿Cuál es el proceso para aplicar modelos de vida artificial?

Como menciona Herrán (2015) La Vida Artificial (VA) supone un paso más allá de la Programación Orientada a objetos y su Programación se Orientada a Agentes.

El proceso para crear vida artificial tiene dos métodos básicos:

1. Un científico estudia la realidad e identifica el objeto natural a imitar y propone un modelo de simulación. Si el modelo lo representa mal o pobremente se reelabora el modelo hasta que sea aceptable.
2. El investigador se concentra en los comportamientos de más bajo nivel, y crea algoritmos que buscan reproducir el comportamiento más básico del objeto a imitar. Si el modelo es demasiado sencillo se va complicando hasta hacer una representación realista de la vida.

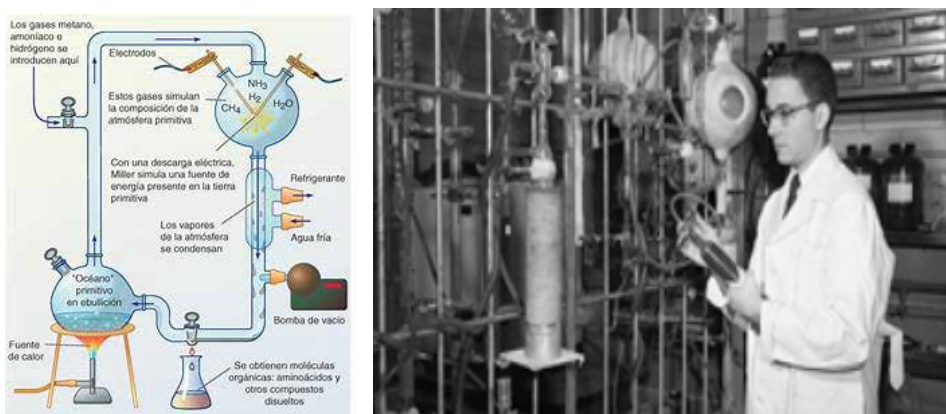
Los mayores éxitos de la vida artificial están en la imitación de los comportamientos más simples. Una de las universidades vanguardistas en estos procesos son el Instituto Tecnológico de Massachusetts y se han desarrollado con éxito insectos y animales “inteligentes” tales como escarabajos o víboras que se mueven y aprenden de manera progresiva usando mecanismos analógicos y no digitales. De hecho, estos investigadores han sido criticados por su afán de comparar al cerebro con una computadora lo cual es una metáfora errónea ya que el cerebro es un sistema emergente que aprende y se adapta y el computador digital no lo hace sino que requiere siempre impulsos externos para funcionar. Los “animales analógicos” se hacen con transistores y tienen reflejos que se adaptan, aunque no tienen cerebro. Hay un video muy ilustrativo que se sugiere ver (Discovery Chanel, 2006). Si bien en la literatura hay evidencias de la aspiración humana por crear la vida artificial e imaginativos novelistas como Mary Shelley en Frankenstein ha dejado constancia de ello, los éxitos más resonantes han sido el trabajo de Stanley Miller quién en 1953 recreó en el laboratorio de su tutor en una sencilla tesis de maestría simuló condiciones que supone existirían en la Tierra primitiva y pudo obtener numerosos aminoácidos básicos para la vida y que se resumen en el cuadro 4.

Cuadro 4. El Experimento de Miller del Origen de la Vida

Este experimento que ahora se estudia en los institutos y preparatorias del mundo merece énfasis especial en este capítulo por su sencillez e impacto. Fue realizado en el año 1953, cuando Stanley Miller tenía solo 23 años y era estudiante de Diplomado del Investigador Urey. Siguiendo la propuesta del bioquímico Ruso bioquímico Ivánovich Oparin que postuló que la vida en la Tierra se pudo haber surgido a partir de un "caldo primigenio" hace 4,000 millones de años integrado por siete componentes: metano, amoníaco, dióxido de carbono, nitrógeno, agua, sulfuro de hidrógeno, e hidrógeno.

Miller, usando tubos y recipientes de cristal conectados como se muestra en la Figura 9 creó un circuito cerrado. En una de las matraces esféricos puso agua en el otro un par de electrodos. Miller procedió a calentar el agua hasta su evaporación y simultáneamente los electrodos emitían descargas eléctricas de 6,000 voltios que simulaban los rayos habría en una atmósfera de la tierra primigenia. Puesto que los matraces estaban conectados, había un condensador que capturaba las muestras líquidas y sus compuestos resultantes. Después de un paciente bombardeo de descargas eléctricas que duro varias semanas, pudieron identificar los aminoácidos, urea y ácidos de tipo graso característicos de los seres vivos. Este experimento simulo por tanto la creación del origen de la vida y estableció la hipótesis más robusta hasta ese momento. Para tan importantes hallazgos es asombroso la economía de medios que Miller usó para algo tan relevante para la ciencia.

Figura 9. El Experimento de origen de la vida de Miller



Fuente: Elaboración propia a partir de (Bio- Est, 2011) y (Catillo, 2016)

En 2010 en el Instituto Craig Venter, su propietario , el multimillonario del mismo nombre logró crear en laboratorio una bacteria con un genoma artificial. Venter creo una bacteria llamada Micoplasma mycoides, de estructura y código

genético muy elementales. Luego de aislar su propio ADN se cambió por otro ADN fabricado de manera artificial. Lo sorprendente es que pese al cambio la bacteria comenzó a funcionar con el nuevo ADN, y lo transmitió al reproducirse (Astronomía, 2015).

Aunque el hecho constituyó un hito para la ciencia que mereció la portada de julio de 2010 en la prestigiosa revista Science como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Portada Creación ADN de la Micoplasma Mycoides



Fuente: (Science, 2010)

El trabajo del multimillonario Craig Venter como *vida artificial* ha sido muy criticado, ya que no es estrictamente vida artificial, pues la bacteria ya existía. Lo único artificial es en realidad es su nuevo ADN. La bacteria de Venter tiene 473 genes. Esta bacteria, aunque representa un gran logro de la ciencia es menor que la más pequeña de las bacterias parasitaria que habita en nuestra entropierna: la *Mycoplasma genitalium*, tiene 525 genes (Clyde A. Hutchison III, 2016).

Otro experimento famoso de “creación de vida” fue el caso de la oveja Dolly en 1997 la cual fue clonada y aunque murió muy rápido fue un avance espectacular que detonó la ciencia y la industria. También en este caso no se trata de “creación de vida” sino de manipulación genética.

¿En qué Campos del Saber se aplica la Vida Artificial?

Uno de los ejemplos más espectaculares al buscar evidencias para la elaboración de este libro son los videos de *robots analógicos*, que se adaptan y aprenden incluso pueden superar catástrofes como la rotura de una pata. Conceptos como reproducción, alimentación, mutaciones, adaptación, robustez, autonomía, lucha y muerte son importantes para el diseño de vida artificial.

Son muchos campos del saber que ha ido convergiendo en el propósito de crear vida artificial. En química que es una de las áreas donde se han producido los desarrollos más espectaculares además del experimento de Miller ya mencionado, el diseño cromosoma eucariótico de levadura, que es un hongo usado para hacer cerveza, pan, y biocombustible más sostenibles para el entorno o el diseñar bacterias para capturar dióxido de carbono de la atmósfera o degradar plásticos y desechos tóxicos (Gershenson, 2015).

(Valdiosera, 2015). Menciona algunos otros ejemplos tales como : ...*“La computación cuántica, los trabajos sobre computación reversible y algoritmos miméticos, la auto-replicación artificial, multimedia avanzada y desarrollo de mundos y criaturas virtuales, la llamada tecnosfera, (un lugar donde se pueden construir organismos digitales en un ambiente virtual observando su comportamiento e interacción con el medio), el hardware evolutivo y la electrónica evolucionista, el desarrollo de los sistemas de computadoras moleculares a través de los sistemas nano- tecnológicos. “*

¿Qué Software existen para Vida Artificial?

(Valdiosera, 2015) menciona que las universidades norteamericanas son las que más vanguardia tienen en el estudio de la vida artificial dentro de ellas cabe mencionar a: la de Universidad de Nuevo México, la Universidad Estatal de Iowa, la Universidad Atlántica de Florida, el grupo de autómatas celulares evolutivos del Instituto de Santa Fe en California, que dirige Langton el creador de la hormiga. Así mismo, destacan la Universidad de Michigan, la de Illinois, la Universidad de Tokio, y la de Universidad de Ginebra, el Tecnológico de Massachussets ya mencionado. En Europa destaca Universidad de Sussex, en Reino Unido.

El cuadro 5 resume el software que hay para modelar y crear vida artificial.

Cuadro 5 Software para vida artificial

Software	Tipo de licencia	Aplicaciones y tipos de análisis	lenguaje de programación	Sistema operativo	web
Artificial Life Contest 1.0	Libre	Permite aplicaciones universales	Java	Windows2000, WinXP, Windows2003	http://www.download32.com/artificial-life-contest-d99627.html
BlueBox A-Life 2012	Libre	Permite aplicaciones universales	Java	Windows2000, WinXP, Windows2003	http://www.download32.com/bluebox-a-life-d101273.html
Physis 0.7	Libre	plataforma de investigación Alife para estudiar la evolución de lenguajes de programación-ensamblaje similares.	Java	Windows2000, WinXP, Windows2003	http://www.download32.com/physis-d19079.html
Elsy 1.0.1	Libre	sistemas de aprendizaje, inteligencia artificial, vida artificial, redes neuronales, redes neuronales, aprendizaje de máquina, de refuerzo de aprendizaje agentes de aprendizaje sin supervisión	Java	Windows2000, WinXP, Windows20	http://www.download32.com/elsy-d106532.html
Artificial Life HD - 2.4	1 dolar	simulación del crecimiento y la evolución microorganismos – y formas de vida artificiales.	Java	Windows2000, WinXP, Windows20	http://www.download32.com/artificial-life-hd-d385094.html

Fuente: Elaboración propia a partir de (Download 32, 2015)

¿QUÉ VENTAJAS INCONVENIENTES DE LA VIDA ARTIFICIAL?

Su ventaja es que los humanos avanzan en comprender los mecanismos de la vida y sus variantes, lo cual nos dará la sensibilidad para buscar fuera de la tierra formas de vida no biológicas,

La principal desventaja es que las simulaciones exitosas son apenas los escalones más simples y por el momento los avances en la Vida Artificial es incapaz de simular: El dolor, el placer, la atracción sexual. O sentimientos aún más desarrollados como el amor, la desolación, la poesía, el arte y la conciencia de sí mismo.

Dentro de las ventajas cabe mencionar que la pretensión de imitar la naturaleza permite comprender maravillas como el origen del universo, los mecanismos y las condiciones que dieron origen a la vida, lo cual permitirá en el futuro mejorar la vida de plantas, animales e incluso seres humanos.

La e- science (John Taylor)

John Taylor es un investigador británico que ha usado simulaciones de inteligencia artificial aplicada a redes neuronales. Para diseñar estrategias de inversión y fondos de cobertura.¹¹

En 2011, Taylor fue co-fundador de la Commonwealth Capital Management LLP, creó su primer fondo basado en modelos de inteligencia artificial. Es considerado un precursor de la complejidad por ser el creador del concepto e Science para referirse a la nueva ciencia computacionalmente intensiva que requiere el uso y análisis de grandes cantidades de información.

La E ciencia: *“Supone usar la informática para en el proceso científico. Estos pueden incluir el modelado y análisis de datos, electrónica / cuadernos digitalizados de laboratorio, conjuntos de datos en bruto y proyectos de manuscritos, y publicaciones electrónicas”* (Bohle, 2014).

En todas las grandes universidades del mundo se han creado departamentos de e Science en algunos casos se les llama también *big data*. En la actualidad la

11. *Se traducen como fondo de cobertura (Hedge funds) por su nombre en ingles y es una inversión colectiva gestionada por un agente externo que puede ser un banco o una agencia de inversión. Usan derivados financieros tales como las permutas financieras (Swap), los futuros y las opciones financieras*

e-Ciencia ha creado redes científicas de colaboración que usan grandes cantidades de datos, uso intensivo de computación y visualización de alto rendimiento.

ROBÓTICA ORÍGENES Y EVOLUCIÓN

La Robótica según la Real Academia Española la Robótica es una técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales (Real Academia Española, 2015).

A pesar de lo que dice la Real Academia, la robótica no es una *técnica* sino una macro ciencia que hace de sumidero de conocimientos de la Mecánica, la Electrónica, la inteligencia artificial y los sistemas de control difusos, los autómatas celulares, la animatrónica. De una manera simplista podríamos decir que Robótica es la versión evolucionada de la Mecatrónica que tan solo agrupa a la de Mecánica, Electrónica e Informática y que es tan popular en las universidades contemporáneas por los concursos de robots.

El primer autómata cuasi robot de la historia, fue nuestro padre Adán y fue creado por el mismo Dios y a diferencia de sus imitaciones de fierro posteriores, era de carne y hueso, vivía en un paraíso y solo se le permitía ser feliz, sin trabajar. Fue hecho de barro con instrucciones precisas de ser bueno, con la única restricción de no comer de los frutos del árbol de la ciencia y el conocimiento. Por fortuna para todos, lo desobedeció y con ello dejó de ser un simple autómata y pasados muchos miles de años sus descendientes que somos nosotros, podemos estudiar, crear cosas, ser buenos, emborracharse a veces, estar contentos o tristes, escribir libros y leerlos entre otras muchas cosas gracias al bendito libre albedrío.

La palabra robot es de origen checo (*robot*) y significa *trabajos forzados*. Esta definición caza con la idea de un autómata que obedece a nuestros caprichos y hace trabajos simples. Aunque en la mayoría de las páginas y los trabajos históricos sobre la Robótica que encontré mencionan el robot de Leonardo Da Vinci como el primero, hubo muchos otros como vemos.

Según (Sánchez, y otros, 2007 pág. 70-74) en una breve historia de la robótica que resumo algo arbitrariamente,

En 1300 se creó el primer cuasi robot *ordenado por el Rey Memos de Etiopia*. En 500 a. C. *King-su Tse, en China creó una urraca y un caballo capaz de dar saltos*, En 400 A. C. *se diseñó una paloma de madera que rotaba por sí sola gracias a un*

surtidor de agua. . (..) en 200 A.C Filón de Bizancio creo un autómeta acuático. (...) En el año 206 A. C., en China con el emperador Han, se creó una orquesta mecánica de muñecos. (...) En 62 D.C. Heron de Alejandría creo aves que volaban. (...) En el 335 D. C., Hsieh Fec creo un Buda que conducía un carro con animales que cantan y danzan (..). En 770 d. C., Yang Wu-Lien hizo un mono ponía las manos y grita ;Limosna. En el 890, Han Chih Ho creo un gato de madera que cazaba ratas. En el edad media también según (Sanchez y otro, 2011 pag. 70-74) ...” Alberto Magno (1204-1282) diseñó un hombre de hierro que hablaba...” Leonardo da Vinci (...) ” construyó para Luis XII un León Mecánico,. En 1495 Leonardo diseño su famoso robot era: un caballero con armadura, capaz de incorporarse, agitar los brazos, mover la cabeza, y abrir y cerrar la mandíbula Este robot es realidad nunca lo construyo(..). En Osaka Japón, se crearon autómetas réplicas del ser humano. Jacques Vaucanson en 1738 hizo un autómeta flautista...(...) “ (Sánchez y otros, 2011 pág. 70-74).

Leonardo Da Vinci en los últimos años se ha vuelto muy mediático pero su robot nunca, sus notas de diseño se descubrieron en bocetos en los años 1950. En Alemania se construyó el Robot copiando sus diseños originales y Oh¡ sorpresa se comprobó que el robot ¡funcionaba¡. Se muestra en la Figura 10. El robot es en realidad un soldado con armadura medieval germano-italiana, que aparentemente es capaz de hacer varios movimientos como sentarse, articular sus brazos, cuello y mandíbula.

En contraposición al robot de Leonardo se ilustra también en la Figura 11, el robot construido en el año 2000 por Honda llamado ASIMO (acrónimo de “Advanced Step in Innovative Mobility”) el cual es un robot humanoide que los exquisitos llaman *androide*, aunque ASIMO sea vuelto un icono de la empresa para enfatizar su carácter innovador, el proyecto original estaba orientada a crear un mecanismo para ayudar a las personas que carecen de movilidad completa en sus cuerpos, así como para animar a la juventud para estudiar ciencias y matemáticas (Honda, 2015).

Figura 11 Robot de Leonardo y ASIMO el Robot de Honda



Fuente: (Taddei, 2007) y (Honda, 2015).

Existen siete generaciones de robots: La primera generación son los robots manipuladores con sistemas de control manuales, de secuencia fija o variable. Aparecen desde los años 50s, carecen de percepción del entorno y realizan sólo tareas claramente programadas.

Los de segunda generación, son robot de aprendizaje, que tiene capacidad de memorizar y repetir movimientos humanos, obtener datos de su entorno y lo almacenan. Se desarrollan hasta los años 80s.


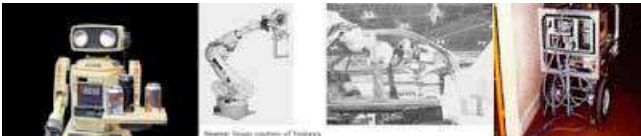


Los de tercera generación, se controlan por sensores mediante una computadora y un programa básico que manipula objetos. A diferencia de la generación previa son reprogramables, usan controladores que captan la información del entorno con sensores, y cámaras.


Los de cuarta generación, son robots inteligentes con sensores que les permite tomar decisiones. Tienen sistemas de control en tiempo real. Sus decisiones son modeladas dentro de un rango amplio basados en algoritmos. Los de quinta generación se desarrollaron a partir del año 2000 y tienen inteligencia artificial y tienen comportamientos no triviales (GILLENXT, 2015). Los modelos de sexta generación, son los Robot Sociales que básicamente son de dos tipos: usados para la enseñanza del lenguaje (Escritura, Lectura, pronunciación, símbolos) y los que se usan para el cuidado de ancianos como compañía y como asistentes sociales.

A diferencia de las generaciones anteriores *tiene inteligencia social* y son capaces de interactuar en un rango limitado de diálogos, comportamientos y normas sociales. En la enseñanza del lenguaje han probado ser fuertemente motivacionales entre niños menores de 10 años, particularmente durante las primeras dos semanas y cuando se diseñan dinámicas por sesiones que permiten mantener la novedad y el interés sobre todo si se usan grupalmente (Van den Berghe, Verhagen, & Oudgenoeg-Paz, 2019).

La evolución de la Robótica se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Las Siete Generaciones de Robots

	<p>Primera Generación Robot manipulador</p>
	<p>Segunda generación Robot de aprendizaje</p>
	<p>Tercera generación Robot control sensorial</p>
	<p>Cuarta generación Robot inteligente</p>

	<p>Quinta generación Robot de inteligencia artificial</p>
	<p>Sexta generación Robots sociales Para la enseñanza del lenguaje y cuidado de ancianos con inteligencia social</p>
	<p>Séptima generación Los Robots extraterrestres</p>

Fuente: (GILLENXT, 2015) (Yibada, 2016) (LzTOR, 2020) (Every day astronaut, 2021)

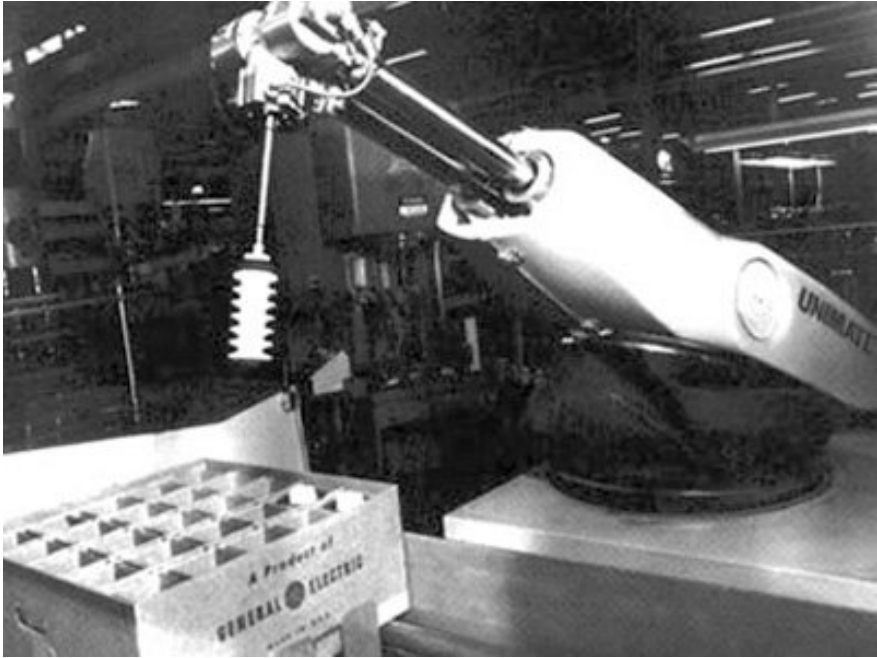
La clasificación más aceptada es la que se enfoca en la arquitectura robótica. Existen 4 tipos que son: poli- articulado, móvil, androides, zoomórficos e híbridos. Robots Manipuladores

El primer Robot Industrial (George Devol)

Según (Nof, 1999) George Devol es uno de los raros casos que pese a carecer de educación formal inventó el primer Robot Industrial. Dentro sus aportaciones destacan también el primer manipulador programable, un dispositivo de transferencia programada de artículos. El Robot de George Devol podía mover un objeto y ponerlo correctamente en un lugar a su alcance..

La figura 12 ilustra el primer robot manipulador de la historia.

Figura 12. El Robot UNIMATE



Fuente: (Taringa, 2015)

Victor Scheinman máquina de voz a texto



Diseñó la primera máquina para convertir voz a texto estudiando en la Universidad Stanford, Scheinman inventó el Stanford Arm, un brazo robot articulado de 6-ejes totalmente eléctrico, capaz de alcanzar cualquier posición en el espacio bajo el control de una computadora, ampliando el uso de los robots a aplicaciones más complejas como el ensamblaje y la soldadura por arco.

En 1977, Scheinman vendió la patente de su robot a la empresa Unimation, y General Motors, las cuales crearon el brazo Robot PUMA. En 1980 Scheinman creó RobotWorld, un sistema de cooperación robótica vinculados a un motor lineal 2-D que detona las fábricas de robots (Stanford, 2015).

Robot con Cerebro Artificial (William Grey)

Grey a diferencia de los precursores robóticos era un Neurólogo y Neuro físico y a partir de sus experiencia y comprensión de cómo funciona el cerebro humano observó sus patrones usando un electroencefalograma donde observo los diferentes patrones del cerebro. A partir de allí consiguió crear robots con cerebros artificiales simples para estudiar el comportamiento. (Owen, 1997)].

Su experiencia como medico le llevo a combinar el uso de sonidos y luces detectando que ello alteraba la actividad cerebral del cortex, características que incorporo en un pequeño robot. Quizás lo mas destacado de sus hallazgos fue que con pocas conexiones es posible crear sistema complejos no convencionales de respuesta. Otro aspecto muy destacado de su obra fue que creo el primer hardware libre de la historia mucho antes de que surgiera el movimiento de ciencia Abierta

NANOTECNOLOGÍA

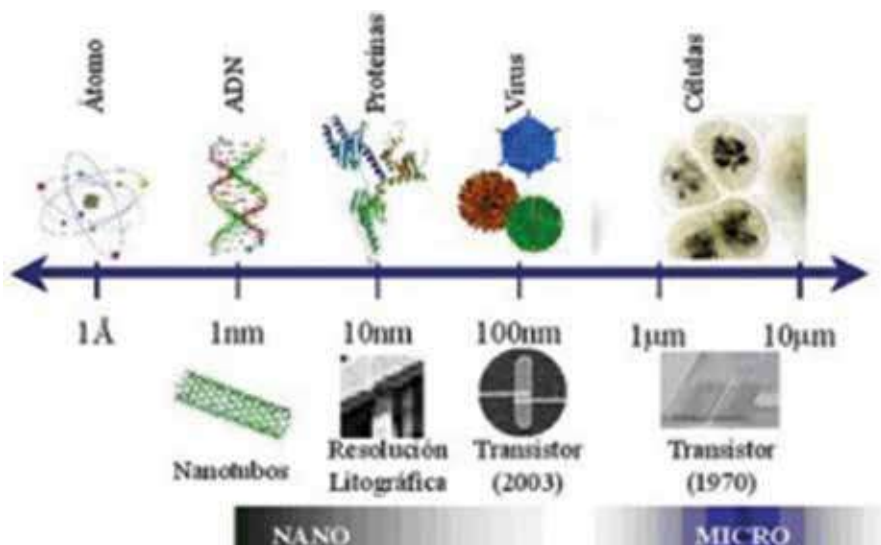
Rama de la Robótica que se enfoca a materiales dispositivos y sistemas de gestión tecnológica a una escala de un tamaño entre 1 y 100 nanómetros. Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro.

Los investigadores se suelen especializar en el diseño creación manipulación de particular con estructuras atómica dedicada al estudio, diseño, creación, síntesis y manipulación de las estructuras moleculares y sus átomos.

La nanotecnología tiene implicaciones en la ciencia de la complejidad porque es en sí misma una ciencia multidisciplinar, que abarca la química orgáni-

ca, la biología molecular, la física de los semiconductores, y la micro fabricación (Drexler, 1992). La figura 13 da cuenta de su evolución.

Figura 13 Evolución de la Nanotecnología



Fuente: (Nanotecnología, 2015)

En el año 2014 la fundación Loys encargó un informe sobre el potencial del creciente de la nanotecnología en los próximos años. Este grupo de expertos concluyó que son cinco las áreas de mayor potencial:

Diseño y creación de Nanopartículas:

Creación de Materiales artificiales usando impresoras 3D,

Almacenamiento de energía en dispositivos compactos,

Diseño de nanosensores para sistemas de construcción que previenen corrosión y tensiones

Sistemas de repositorios de información para la gestion del datos masivos

En el tema del estudio de sistemas complejos, aunque todas las áreas tienen potencial destaca sobre todo el área de Big data. En esta área por lo general la información se obtiene de una sola fuente, si el número de fuentes se multiplica por miles de sensores se puede mejorar la calidad de las decisiones basadas en datos muy precisos.

Es verdad que existen algunos problemas a resolver como es el limitado espectro de frecuencias en las redes inalámbricas. El uso extensivo y creciente de las bandas 5G que son capaces de desarrollar velocidades de descarga de 10 gigabits por segundo. Una banda 5G tiene tres tipos de celdas cada una con una antena diferente.

Uno de los inconvenientes de la ondas de alta frecuencia es que presentan problema para traspasar ciertos materiales y ventanas, sin la rápida adopción está estimulando el desarrollo de esta tecnología.

Otro de los retos es la falta de personal entrenado y cualificado tanto en la instalación solución de problemas y análisis de Datos masivos, solo en algunas universidades de alto prestigio se puede estudiar estas nuevas habilidades ampliamente demandadas y premiadas con sueldos que cuadruplican a los de los egresados universitarios de carreras convencionales. En la practica los egresados se forman por su cuenta.

En Silicon Valley se ha creado un programa llamado "*Insight Data Science Fellows*" dirigido a ingenieros, informáticos, físicos, astrofísicos, matemáticos ,actuarios, neuro científicos y biólogos computacionales para desarrollar las nuevas capacidades requeridas en la industria los gigantes tecnológicos que suelen acaparar a los grandes talentos (Euroresidentes, 2015)

Richard Feynman, que uno de los científicos más seductores y fascinantes y percibió potencial de la nano ciencia y la nanotecnología mediante la síntesis y la manipulación directa de los átomos.

DIAGRAMAS DE FEYMAN (RICHARD FEYMAN)

Richard Feynman fue uno de los científicos contemporáneos mas conocidos y populares. Además de haber ganado el premio nobel de Física en 1965 por el análisis de un Twirling que es un objeto en forma de plato que se mueve por el aire , mediante ecuaciones de rotación de predicen las velocidades de giro. Feynman creó los diagramas que llevan su nombre para ilustrar fuerzas de intercambio Los vértices de sus diagramas tienen la característica de describir las leyes de conservación que rigen la interacción de partículas para conserva su energía, (Feynman-group, 2012). (Hyperphysics, 2015).

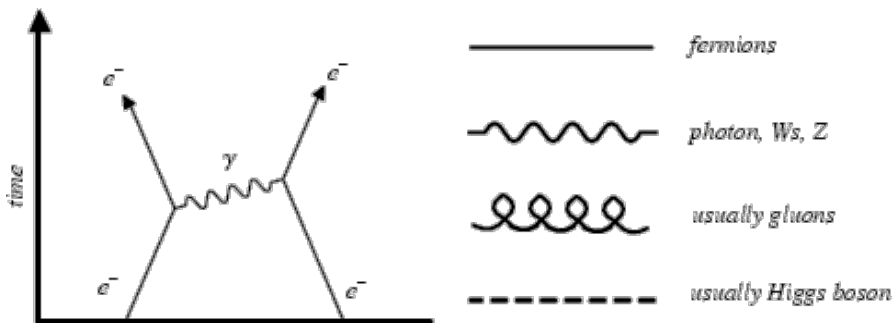
Los diagramas tienen tres características:

1. Los diagramas usan dos tipos de líneas que pueden ser flechas u ondas.



2. Las líneas tanto lineales como de ondas pueden ir en cualquier dirección, sin embargo su orientación si es importante por ello se usa un sentido en cada una de ellas. Los ejemplos se representan en la Figura 11.

Figura 11 Diagrama de Feynman



Fuente: (Science World, 2020)

Una restricción de los diagramas es que cada línea debe estar conectada a un vértice y viceversa, de manera que ninguna parte del diagrama forme una isla.

La relevancia de estos diagramas radica en que permiten medir y contar las partículas atómicas como protones neutrones y positrones, los diagramas al integrar la conducta dual de la luz que incluye ondas y líneas permiten acercarse a conceptos casi teológicos como la reversibilidad del tiempo.

Feynman fue un científico muy popular porque previo el accidente del trasbordador Challenger en 1986 casi vaticino la catástrofe en su obra What Do You Care What Other People Think?

Cuando era parte de la Comisión Rogers, alertó que había observado una falta de comunicación entre los ingenieros y ejecutivos de la NASA. Los cuales sostenían de manera errónea que había una probabilidad de 1 en 100,000 de una catástrofe y los ingenieros afirmaban por su parte que era de 1 en 200.

Lo que ocurrió fue el accidente más grave en la historia de la Nasa. El Challenger estalló en el aire en su reingreso a la tierra por la falla de una junta de 20 dólares que

no había sido cambiada, matando a toda su tripulación y se suspendió el proyecto en la Nasa generando una gran pérdida de la credibilidad en la ciencia (Feymangroup, 2012).

Los Robots de Sexta Generación: Inteligencia Social y Artificial

Puesto que se aparte del propósito del libro hacer un desarrollo sistemático y formal de la robótica

Terminaremos este apartado de la Robótica ilustrado los robots de sexta generación con inteligencia social más avanzados . Hemos elegido a dos que destacan uno por su impresionante capacidad interacción en los diálogos con humanos y su movilidad gestual , que es el Robot Sofia, que en griego significa Sabiduría y por el otro lado el robot Atlas de la empresa Boston Robotics.

La robot Sofia resulta impresionante por su capacidad de dialogar de una manera fluida. Fue creada por Hanson Robotics y es capaz de tener 90 posiciones gestuales y sostener un dialogo cuya inteligencia y agudeza rebasa incluso a la mayoría d ellos humano normales.. Arabia Saudita incluso le concedió incluso la ciudadanía. El primer modelo fue dado a conocer en 2016.

El otro impresionante Robot es el Atlas de 1.80 metros de alto financiado por la agencia

América de Defensa. Advanced Reserach Proyects Agency, cuyo primer modelo fua dado a conocer en 11 de julio de 2013. Sus extremidades tiene 28 grados de libertad que comparadas con las 7 de la mano lo hace muy superior. El robot está orientado al combate y el último modelo de 2021y es capaz de hacer Parkour con una precisión asombrosa que supera a la de los humanos promedio.

La figura 12 ilustra a ambos robots.

Figura 12. Robots más Avanzados del Mundo

Robot Sofia



Robot atlas



BIÓNICA

Este es la firma más avanzada de la robótica. Dicho de una manera simple es una rama de la robótica que se enfoca a la integración de los sistemas vivos a artefactos inteligentes que suplen o compensan las limitaciones animales o humanas o las complementan.

La Biónica es parte de la complejidad ya que supone la integración de distintos campos de la ciencia que ahora resultan convergentes s como: la mecatrónica, la fisiología, la computación avanzada, la simulación, la inteligencia artificial e incluso el diseño y la moda.

Los intentos por integrar la naturaleza y los artefactos al cuerpo humanos no son nuevos.

El cuadro 6 resume los esfuerzos desarrollados a lo largo de la historia. Suele mencionarse a Leonardo Da Vinci como el primer ingeniero biónico por el diseño de su famoso ornitóptero.

Cuadro 6 Evolución de la biónica

Desarrollo de la biónica



Año 2000 a.C. primera prótesis momia egipcia, la cual tenía un cartucho sujeto al brazo.
Año 218-208 a.C. Durante la Segunda Guerra Púnica, el general romano Marcus Sergius fabricó la primera mano de hierro con la cual portaba su escudo.
Año 300 a.C. Se fabrica la primera pierna artificial conocida, hecha de madera y bronce.
Año 1400 **mano de Alt-Ruppin** (un pulgar rígido y dos dedos flexibles)
Año 1510-1590 Ambroise Paré | primer brazo artificial móvil a nivel de codo llamado Le Petit Lorraine. Los dedos podían abrirse o cerrarse; también tenía una palanca por la cual el brazo podía realizar la flexión a nivel del codo.
Leonardo
Siglo XIX uso de cuero, polímeros y madera para prótesis, resortes para mecanismos para elementos de transmisión de fuerza
Siglo XX El médico francés Gripoulleau accesorios como anillos, ganchos y para amputados
Leonardo primer Ingeniero Biónico. Crea principios de funcionamiento de seres vivos aplicados al diseño de máquinas y propuso el Ornitóptero. El primer hombre pájaro.

Fuente: (Flirck Fotos, 2021)

En época más recientes la biónica se ha propuesto mejorar la vida de las personas ya sea por el desgaste en el uso de un miembros- el oído, la visión, la locomoción y la movilidad o bien por discapacidad.

Cuando existe una discapacidad es posible subsanarla un miembro por otro equivalente o bien de plano implantar una prótesis biónica.

Los Ciborgs y el Desarrollo de Aplicaciones

Esta integración creciente ha propiciado la aparición de un concepto de Cyborg que nos evoca películas de ficción tales como Robocop . Este concepto fue propuesto por (Coca & Valero, 2010) pero el termino original de propuesto por (Clynes & Kline, 1960) para un ser humano mejorado para vivir en un entorno extraterrestre. Un cyborg por lo tanto es un ser que tiene con partes no biológicas apoyándose en nanotecnología y robótica de frontera.

En sentido estricto todas la apersona con algún implante cibernético que le permite vivir es un Cyborg por ello algún con un marca -paso lo es.

La figura 13 ilustra aplicaciones que existen en la actualidad, destacan por su avance los brazos y extremidades biónicas.

Figura 13. Ejemplos de Biónica



(Mira como se hace, 2021)

Capítulo 4

Cuarto Tributario: Ciencias de la Complejidad

En este tributario central de la teoría de la complejidad. Trataremos de los precursores creadores de los conceptos fundacionales. En la ciencia crear un nuevo concepto es como descubrir un nuevo camino. Hablaremos de Erich Jantsch, Ilya Prigogine, Francisco Maturana y Francisco Javier Varela, Stuart Kauffman, John Holland, Per Bak, Samuel Bowles, Geoffrey West, Edgar Morin, Manuel Castell, Inmanuel Wisllestrein, y John Urry.

ASTROFÍSICA: DISEÑO DE SISTEMAS DE MOVIMIENTO SOCIAL (ERICH JANTSCH)

Erich Jantsch fue un astrofísico austríaco. Es el creador de la idea del diseño de sistemas de movimiento social. Su interés por el futuro le llevó a estudiar las técnicas de predicción. A diferencia de la mayoría de las corrientes epistemológicas Jantsch solía afirmar que la ciencia no puede ser neutral.

En su obra cumbre *The Self-Organizing Universe* (Jantsch, 1980). Propone a la auto-organización como un concepto vinculante que hace convergentes a la Astrofísica, la Biología, la sociología y la Conciencia característica de los seres vivos más evolucionados. Jantsch se apoya en las ideas y conceptos de Ilya Prigogine sobre estructuras disipativas y estados fuera de equilibrio para proponer su modelo de universo autoorganizado.

Este libro ha sido muy influyente por ser el primer escritor de proponer específicamente el concepto de transdisciplina como el único mecanismo para entender la ciencia como el holismo, la coevolución, y la autoorganización.

Según Jantsch la evolución del universo va desde lo cósmico y biológico a la evolución sociocultural – percibida como el paradigma unificador de la autoorganización.

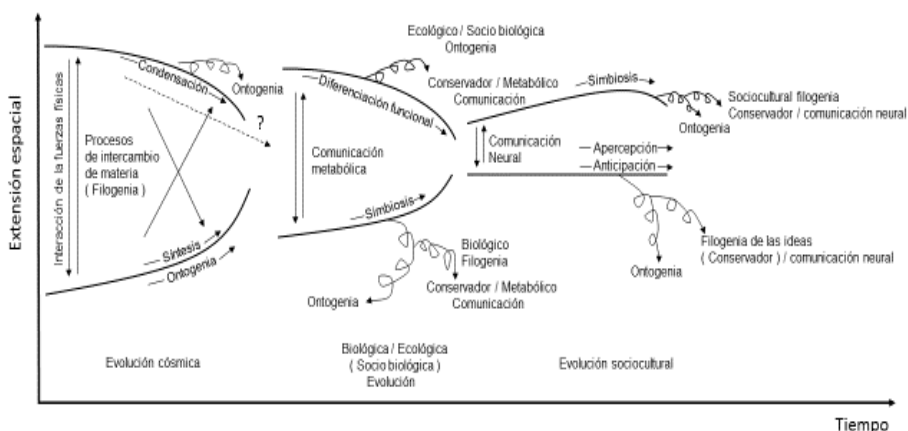
Existen tres evoluciones: la evolución cósmica que se crea a través de procesos de condensación y síntesis en un proceso de intercambio que él llama Filogenia (Phylogeny). Esto supone un continuo intercambio de fuerzas físicas. Una vez que el universo ha sido creado se desarrolla la evolución biológica- ecológica. En esta

fase se llevan a cabo una comunicación metabólica entre agentes que propicia una filogenia Biológica a través de procesos de simbiosis y de diferencia funcional.

En el tercer nivel corresponde a la evolución social que surge de comunicación de las ideas entre agentes. Estas tres fases se ilustran en la figura 1.

El énfasis del desarrollo humano basado en la evolución social e integrado

Figura . Las Tres Fases de la Evolución



Fuente: (Jantsch, 1980)

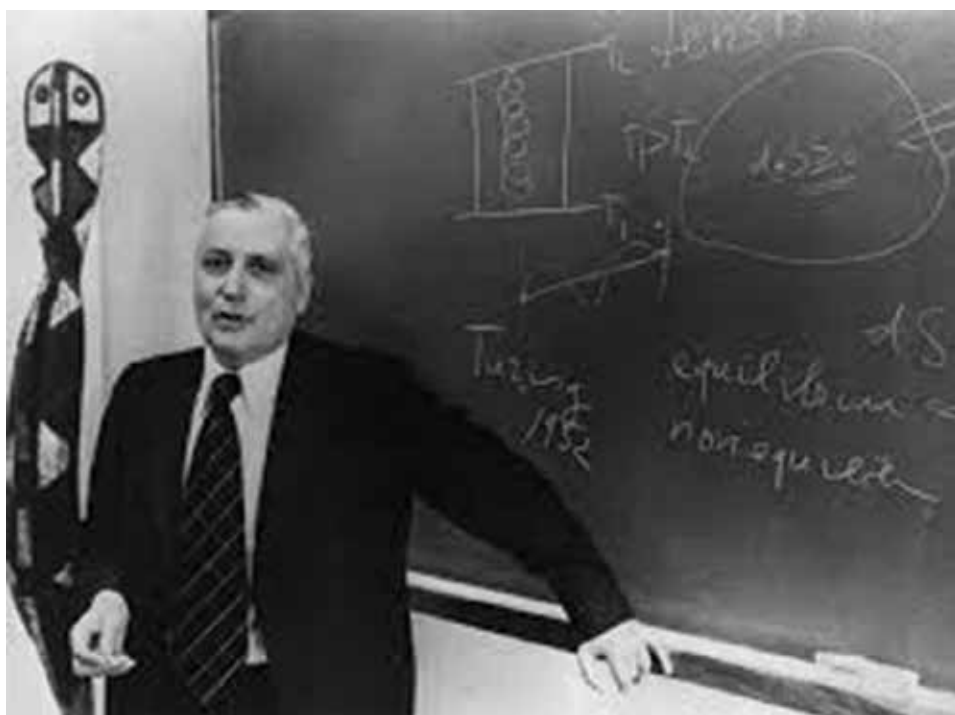
La propuesta de Jantsch hace hincapié en procesos, estructuras fuera del equilibrio, evolución constante, y la creatividad individual que enfrenta la estabilización colectiva. Enfatiza las interacciones micros en la biosfera y los ecosistemas y propone un marco global para una comprensión más profunda de la creatividad humana durante su transición evolutiva. Su modelo articula la creación de la vida que se expresa en la filogenia y que se articulo en lo humano y sus sociedades donde a partir de su organización social y su cooperación fortalece su existencia y da origen la filogenia de las ideas que permiten la comprensión de donde venimos, a donde vamos y quienes somos y nuestro papel en este conjunto de universo que de pronto bajo las ideas de Jantsch resulta comprensivo de la complejidad de lo macro, lo micro, los sistema bilógicos y los sistemas culturales.

Jantsch murió muy joven para nuestro tiempo, tenía solo 51 años. Su epitafio, lleno de poesía dice: " Falleció en Berkeley agradecido por una vida muy rica, hermosa y completa. Sus cenizas fueron esparcidas sobre el mar, la cuna de la evolución".

QUÍMICA: LAS ESTRUCTURAS DISIPATIVAS (YLYA PRIGOGINE)

Este maravilloso científico que aparece en la figura 2 (aunque por sus obras lo podría uno juzgar como un filósofo) tenía formación de Químico. Nacido en Moscú huyó de la revolución bolchevique y su familia se asentó en Bélgica país del cual adoptó la nacionalidad. Si bien gran parte de su carrera científica la realizó en Estados Unidos donde fue profesor de la prestigiosa Universidad de Chicago y luego se mudó a Texas donde es su Universidad, creó en 1967 el Instituto de Mecánica Estadística y Termodinámica.

Figura 2. Ylya Prigogine Maestro



Fuente; (The famous people, 2020)

Prigogine es uno de los científicos más estimulantes ya que, aunque sus primeros trabajos son sobre termodinámica, la última parte de su vida bordaron la filosofía y es un referente en el estudio de los sistemas complejos la aportación de las estructuras disipativas.

Escribir sobre su obra y sus ideas no es una tarea sencilla. Fue laureado con el premio nobel de Química en 1977 por sus contribuciones a expandir la teoría

termodinámica y describir lo que el llamo los sistemas alejados del equilibrio, correlacionados obligadamente al contexto.

Su gran aportación, sin embargo, se dio en el campo de los que el llamo *estructuras disipativas alejadas del equilibrio*. Según él, la materia adquiere nuevas propiedades al alejarse del equilibrio.

Las nuevas propiedades nunca se aíslan del sistema que las creo, contrario a lo que se creía. De hecho todas las estructuras en equilibrio tienden a perder el equilibrio y a disiparse. Esta rotura sin embargo es de carácter temporal ya que siempre es posible ver la estela que deja el sistema original. A este rotura del equilibrio entre pasado y presente, le llamo Estructura Disipativa.

(Prigogine, 2012) identificó cinco propiedades que caracterizan a estas estructuras alejadas del equilibrio:

1. Sensibilidad
2. Flexibilidad
3. Movilidad coherente de largo plazo
4. Estados múltiples de las estructuras
5. Historial de elecciones de los sistemas fuera de equilibrio

Prigogine con su propuesta destruye el concepto de simetría postulado desde la época de Euclides y la idea de la simetría del tiempo aportando un nuevo concepto de la historia de los sistemas. Un idea que subyace luego de leer su obra es que estar fuera del equilibrio no es un defecto sino lo que permite a los sistemas, físicos, biológicos sociales y humanos evolucionar. Es imposible no recordar lo que decía Einstein. *“La comodidad y la felicidad metas comunes de la existencia humana siempre me ha parecido el ideal de un rebaño de cerdos”*.

Para comprender el concepto de estructura disipativa es necesario comprender primer el concepto de sistemas no lineales.

En la ciencia tradicional el afán de la predicción asume que los sistemas son siempre lineales. Para cada problema hay sólo una solución posible, sin embargo, Prigogine afirma que la mayor parte de los sistemas en la naturaleza en realidad son no lineales ya que hay muchos estados posibles y muchas soluciones.

De hecho, sólo cuando un sistema está en equilibrio es posible pensar en soluciones de tipo lineal, sin embargo, los sistemas mutan conforme pasa el tiempo y las soluciones que eran aceptables para un sistema dejan de serlo.

Esta idea parece muy evidente pensado en un niño que crece y el cual se contenta con ciertas cosas en una época de su vida, cuando evoluciona estos satisfactores dejan de serle interesantes. Cuando este chico ejemplar llega a la adolescencia y experimenta cambios biológicos abruptos -el sistema se aleja del equilibrio y entra en espacios *de caos-orden*. – risa, llanto incontrolado e inexplicable. Este que le ocurre a cualquier adolescente. es lo que Prigogine vio en un sistema químico y lo teorizó en sus llamados sistemas no lineales alejados del equilibrio.

Prigogine afirmó también que todos los sistemas tienen historia y evolucionan. Es por ello que para comprender un sistema de verdad hay que considerar *su dinámica asociada al tiempo* (Prigogine, 1996). Puesto que los sistemas evolucionan *estos no pueden retroceder*, es por ello que la simplista idea de de la teoría general de los sistemas de Bertalanffy, tan popular hasta entonces deja de tener sentido ya que el sistema cambia y no puede regresar a un estado previo ya que ha evolucionado y el equilibrio inicial se ha roto y nunca podrá regresar a ser lo que era. Según Prigogine los sistemas alejados del equilibrio tienen tres características: Son irreversibles, son probables y tienen coherencia interna.

Sus ideas, aunque son evidentes para alguien que ha criado a un niño, contradecían todo lo que se pensaba hasta entonces. Ya que toda la ciencia de su época era determinista, con algunos atisbos que provenían de la teoría de las probabilidad y la teoría cuántica que la ponían a pruebas y dilemas constantes.

Como hemos mencionado en el apartado de la lógica difusa, el afán por gestionar la incertidumbre condujo a desarrollar la teoría de la probabilidad. En los sistemas estables se usan leyes deterministas porque se conoce con precisión las condiciones iniciales del sistema. En los sistemas probabilísticos se conoce también las condiciones, pero no hay certeza de los resultados sin embargo se sabe que los resultados son probables y una vez que ocurren son irreversibles de allí la conjunción de probabilidad e irreversibilidad que postula Prigogine. El calentamiento que experimenta el mudo debido a los abusos de la humanidad asumen que la temperatura subirá si bien se desconoce cuántos grados subirá la temperatura de la tierra a fines de este siglo, pero es *altamente probable* que la temperatura se incrementará y cuando esto pase los cambios serán irreversibles para gran parte de la vida en la tierra. Muchas especies se extinguían y aparecerán unas nuevas, sin embargo, la tierra no volverá a ser igual.

Los modelos matemáticos Prigogine y sus reflexiones teóricas contribuyeron al desarrollo no solo de la química sino de la física, la astronomía, el clima y hasta la filosofía. Su concepto de estructuras disipativas es demasiado seductor para

las ciencias sociales porque los sistemas humanos y sociales también presentan las características que señalo Prigogine: Son probables, irreversibles y pese a su desorden generado por el aumento de la entropía siguen teniendo coherencia interna. Quizás mueren y dejan de ser los que fueron, pero esto ocurre en todos los sistemas físicos y sociales evolucionan quizás para perecer al final de sus ciclos de vida, que pueden ser tan breve como la vida de una mariposa que vive solo un día o del universo mismo que desconocemos cuando morirá.

La figura 3, ilustra las ideas de Prigogine sobre los sistemas que se debaten entre el orden y el caos.

En la parte izquierda se encuentran los sistemas que están cercanos al equilibrio. Estos sistemas tienen fuerzas que producen acciones. Hay un determinismo y una previsión esperada en estos actos. Este campo es donde se mueve la ciencia tradicional.

En el lado derecho de la Figura 2 se ilustran los sistemas que están alejados del equilibrio debido a perturbaciones, fluctuaciones, bifurcaciones y auroras de simetría. Estos sistemas por lo general ocurren procesos no lineales, donde existen ordenes ocultos ilustrados por atractores extraños y estructuras disipativas que conforman el marco de estudio de las ciencias de lo complejo.

Figura 3. Sistemas entre el Orden y el Caos



Fuente: Elaboración propia a partir de Prigogine 2012

BIOLOGÍA: AUTOPOIESIS Y ADAPTACIÓN (FRANCISCO MATURANA Y FRANCISCO JAVIER VARELA)

Estos investigadores chilenos son los creadores de un concepto esquivo y difícil de explicar llamado Autopoiesis que ya ha sido explicado en el capítulo 1.

El concepto gira alrededor de esta idea que no deja de ser controversial al considerar cerrado a un ser vivo. "Los seres vivos son sistemas cerrados, que tienen redes circulares de producciones moleculares. Los seres vivos se distinguen por su capacidad de auto producirse..." (Maturana & Varela, 1979).

La Autopoiesis, aunque es un concepto seductor no es fácil de explicar por su origen biológico. Maturana era médico y Varela biólogo, ambos tienen en común haber hecho el doctorado en medicina en Harvard. Aunque su nombre ha pasado a la historia en conjunto Maturana fue supervisor de Varela en Harvard y posteriormente lo incorporó a su equipo de trabajo y juntos desarrollaron el concepto de Autopoiesis que inicialmente propuso Maturana.

Posteriormente se separaron, Maturana regresó a Chile y creó el concepto de Biología del conocimiento y Varela se fue a París donde murió luego de ser director del importante Centro Nacional de Investigación Científica.

Según Maturana el amor entendida como aceptación del prójimo es la base que une la conciencia social, el lenguaje oral y escrito y es la base del progreso humano. Esta idea aunque bella es también controversial ya que la biología moderna ha demostrado que todos los animales tienen formas de comunicación y "lenguaje" que pueden ser sonidos o mensajes químicos.

Maturana se volvió casi un ícono pop de la ciencia. Varela más científico que filósofo, precursor de la neurofisiología y uno de sus hallazgos más fascinantes fue descubrir que cuando uno experimenta una sensación única e irrepetible no acciona una parte del cerebro humano sino distintas zonas que forman un patrón único. A los dos se les atribuye la creación de la autopoiesis que hemos definido en los capítulos precedentes como: *la propiedad de los sistemas a preservar su identidad y mantener su sobrevivencia en el tiempo.*

El concepto de autopoiesis ha tenido repercusiones en muchas ciencias incluida la Arquitectura. En la Figura 3 que sigue se ilustra dicha influencia en la bellísima obra del arquitecto Patrik Schumacher.

Es también notable la influencia en otros arquitectos ganadores del Premio Pritzker como Kazuyo Sejima y Ryue Nishizawa así como la divina arquitecta iraní Saha Hadid. Ganadores del prestigioso premio Pritzker.

Figura 3. Autopoiesis y Arquitectura



Fuente: (Schumacher, 2011)

BIOLOGÍA: COMPLEJIDAD BIOLÓGICA (STUART KAUFMAN)

Kauffman es otro caso de científicos eruditos, que sabe mucho sobre muchas cosas. Inicialmente fue médico con estudios de biólogo (PHD) y luego dramaturgo, filósofo y médico que ha aportado conceptos centrales teorizados para la biología, pero que tienen aplicación en ciencias sociales y economía.

Aunque su labor científica con 350 artículos es espectacular, sus 6 libros son un sol que debe ser leído por quienes se interesen por los aspectos más profundos de la evolución. Dos de ellos son absolutamente esenciales: *Los orígenes del orden* y *A casa en el universo*.

En *Orígenes del orden* varios capítulos son lectura obligada: El Esquema conceptual de la teoría evolutiva actual, Adaptación al borde del caos, Autoorganización y adaptación en sistemas complejos, Sistemas complejos co-evolucionantes. *Los orígenes de la vida: una nueva visión*. Orden y ontogenia, La arquitectura de los circuitos reguladores genéticos y su evolución, Diferenciación: Los comportamientos dinámicos de las redes reguladoras genéticas (Kaufman, 1993). El descubrimiento del orden según Kaufman se encuentra en lo profundo los sistemas complejos, que van desde el origen de la vida, al funcionamiento de las grandes corporaciones, y explica el ascenso y caída de las grandes civilizaciones. Otra aportación destacable es que presenta un nuevo paradigma para la biología evolutiva, que amplía los conceptos básicos de la evolución darwiniana para dar cabida a los resultados recientes y perspectivas de los campos de la biología, la física, la química y las matemáticas. El libro debate brillantemente sobre los orígenes de la vida y el mantenimiento del orden en los sistemas biológicos complejos. Se centra en el concepto de auto-organización: la aparición espontánea de orden que se observa ampliamente en toda la naturaleza.

En su libro *Casa en el universo: la búsqueda de leyes de autoorganización y complejidad*. Aunque no es un texto fácil de leer, las ideas son profundas y van acompañadas de diagramas que ilustran los conceptos discutidos. En sus propias palabras, la definición de evolución es en cierto sentido tautológica y provocativa: “la evolución es la supervivencia del más apto, y ‘el más apto’ se define como los que sobreviven” (Kaufman, 1995).

Kauffman argumenta que la autoorganización es fundamental en la selección natural de Darwin. Sin embargo, hasta ahora se los investigadores han desestimado la autoorganización en la teoría de la evolución. Los requisitos de construcción que permiten a los sistemas complejos adaptarse son poco conocidos. Este libro explora estos temas. Muestra cómo los sistemas complejos, en contra de las ex-

pectativas, pueden presentar espontáneamente impresionantes grados de orden, y cómo este orden, a su vez, es fundamental para comprender la manera en la que surgió la vida hace 3,800 millones de años. Los temas incluyen la nueva biotecnología de la evolución molecular aplicada, con sus importantes implicaciones para el desarrollo de nuevos medicamentos y vacunas; el equilibrio entre el orden y el caos observado en muchos sistemas naturales; nuevos conocimientos relativos a la capacidad de predicción de la mecánica estadística en biología; y otros temas importantes. Aunque la obra fue escrita en los investigadores en las ciencias de la vida ha permeado e influido a casi todas las disciplinas (Kauffman, 1993).

Evolución de la Complejidad en la Biología

Para comprender los aportes de Kauffman es necesario hacer un recorrido rápido por los autores que han marcado el desarrollo de la teoría del estudio de los organismos vivos, en lo que podríamos resumir como Evolución Biológica según (Herrero, 2008).

La primera clasificación de seres vivos la hizo Aristóteles. Había dos reinos: animales y plantas. Casi dos siglos después, en 1735 Carl Von Linnaeus, clasificó con su *Sistema Naturae*, seres vivos por su parentesco evolutivo. Fue el creador de la primera propuesta de filogenia al dividirla en dos reinos: Animal y Vegetal y los minerales los incluyó en un tercer reino. Linneo su modelo proponía una estructura de jerarquías donde las especies se dividen a su vez en clases y estas a su vez en ordenes, familias y géneros de especies. El descubrimiento del microscopio permitió descubrir muchas especies invisibles para el ojo humano que revolucionaron el estudio de la biología. Desde entonces hasta la clasificación Linneo, han seguido varias clasificaciones para llegar a árboles genéticos que con la evidencia del ADN ribosomal han señalado son tres “reinos” Arqueas, Bacterias y Eucariotas.

Estas clasificaciones se han hecho más por su facilidad de estudio. Sin embargo, es el mérito no de una clasificación, sino de ofrecer los primeros atisbos de la evolución de los seres vivos sugeridos por Baptiste Lamarck su obra *Filosofía zoológica* y por Darwin en 1859 maravilloso libro *El origen de las especies*, los cuales usando la observación y el estudio de organismos propusieron que la evolución ocurre como una acampamiento flexible para adaptarse al medio ambiente. La diferencia entre los dos era que Lamarck creía que la adaptación se debía a la herencia recibida por la generación anterior. Por otro lado, Darwin basó su teoría en la importancia de la variación del azar (lo que ahora se conoce como mutación aleatoria) y la selección natural.

Como ya hemos mencionado, Bertalanffy propuso la teoría de sistemas que postula la necesidad de comprender a los seres vivos en relación a su contexto donde la retroalimentación es sin embargo, en Biología su teoría pasó desapercibida ya que es muy simple y carecía de la evidencia empírica que es imprescindible en las ciencias duras (Herrero, 2008). El físico Erwin Schrödinger conmocionó la física de su tiempo con su *principio de incertidumbre*, y escribió un libro llamado ¿Qué es la vida? Traspasando el principio de la incertidumbre a la Biología (Schrödinger, 1944).

En el año 1953 Watson y Crick conmovieron todas las ciencias naturales y de la vida con el descubrimiento del ADN, incorporando la Genética al estudio de los seres vivos y haciendo que los biólogos se olvidaran de estudiar solo las células para adentrarse en el desconocido universo de la Genética, que aunque fue calificado por(Herrero, 2008, pág. 4) como la aportación más determinante al reduccionista a la Biología, en realidad abrió una puerta a la capacidad de crear especies nuevas preparar al mundo y los seres humanos a las consecuencias devastadoras que tendrá el calentamiento global al que todos los días todos los 8,000 millones de seres humanos hacemos aportaciones generosas con nuestro depredador estilo de vida.

La figura 4 ilustra la evolución del pensamiento en Biología del reduccionismo a los comportamiento no lineales.

Figura 4. Evolución de la Teoría Biológica del Reduccionismo a la Complejidad



Fuente. Elaboración Propia

En 1974, Margullis y Lovelock, encontraron que los microorganismos producen y son capaces de generar gases en la atmósfera que crean círculos de retroalimentación que regulan la capa que protege la vida en la tierra y a la cual Mario Molina llamaba cascara de manzana.

Los hallazgos que señalaban la importante influencia de los microorganismos dio inició el estudio de la Geo fisiología proponiendo lo que al final será la hipótesis de la tierra Gaia que explicaremos mas adelante.

En 1980, Maturana y Varela, a quienes ya nos hemos referido en varias ocasiones en este libro, postulan que la organización de los sistemas vivos se debe a una red de procesos en los que cada uno de ellos participa en la transformación de los componentes de la red que ella hace ella misma continuamente proponiendo su teoría de la Autopoiesis (Maturana & Varela, 1970/1980).

En 1984 Prigogine y Stengers introdujeron el concepto de estructuras disipativas ya referido también , destacando su característica de sistema abierto, que puede ser un ser vivo o social, el cual a pesar de estar lejos del equilibrio, mantiene su estructura. La dinámica de las estructuras disipativas asumen pérdidas parciales del equilibrio por la emergencia generada por las interacciones que generan un nuevo orden espontáneo con puntos de inestabilidad y bifurcación. Cuando el sistema esté más lejos del equilibrio, tendrá más complejidad inherente y sus respuestas no lineales serán más acentuadas, incluso en los límites del caos (Prigogine & Stengers, 1984).

En 1985, Robert Rosen, en su libro *Anticipatory Systems*, describió la forma en que los sistemas biológicos anticipan el entorno y crean el formas de reparación metabólica (Metabolism-Repair Systems).

Según Capra (2002) la complejidad de los seres vivos, sus estructuras, función, metabolismo, reproducción, y procesos de adaptación les imposibilita reducir su explicación únicamente a la química y la física. Una de las mayores debilidades del reduccionismo biológico es que es incapaz de explicar los grandes cambios evolutivos, que no ocurren de manera lenta como sugirió Darwin, sino por cambios abruptos provocados por eventos extremos que desencadenaron las 5 extinciones masivas que han tenido lugar, acreditadas con solvencia. Surge entonces la propuesta de Gould y Eldredge quienes en 1973 aportan el concepto de equilibrio interrumpido y posteriormente en 1993, reafirman con más evidencias, que la evolución es el resultado de la introducción de novedades biológicas no adaptativas que rompen brutalmente los ciclos evolutivos generando caos y un nuevo orden evolutivo (Gould y Eldredge, 1993).

A mediados de los noventa los matemáticos y físicos se incorporan al estudio de los organismos vivos e incorporan el concepto de causas múltiples y la llamada teoría del todo como se conoce a la teoría de la complejidad, aunque los matemáticos suelen referirse a ella como dinámica no lineal (Capra, 2002).

En 1998 Lynn Margulis postula que los seres vivos desarrollan todo el tiempo nuevas forma de adaptación que se traducen en nuevos tejidos, órganos, organismos, que con los años crean nuevas especies debido a la transferencia horizontal de genes con la ayuda de virus que atacan a los organismos vivos y eliminan a los débiles que son incapaces de adaptarse dando paso a lo que Darwin llamo la selección natural. Según Margulis este proceso es la fuente de la diversidad biológica (Margulis, 1998).

Investigaciones más recientes han demostrado que la herencia no es lineal y es resultado de un proceso llamado epigámico donde la activación de genes radica en la red epigenética de la célula. .. “Al expandir el trabajo más allá de las bacterias, se descubrió que el gran dogma de la Genética que postulaba una correspondencia entre secuencias de ADN y secuencias de aminoácidos no existe en organismos más complejos. (...) El genoma humano tiene 25.000 aminoácidos y sintetiza alrededor de 100.000 proteínas...”(Herrero, 2008) A esta propiedad de expansión genética Ast 2005 la llamo “Edición Alternativa “ (Ast, 2005).

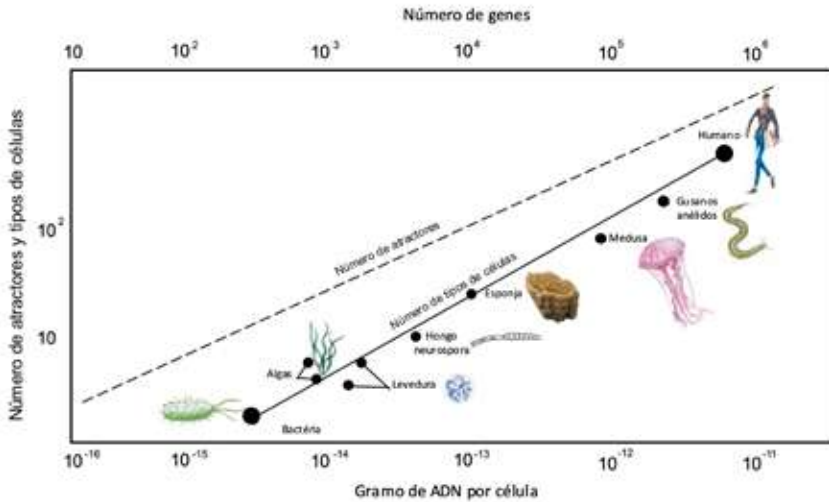
... “Los chimpancés y los humanos comparten el 99,1 por ciento de sus genes, incluidos algunos que contienen pequeños elementos genéticos móviles,(...) estudios recientes han demostrado que los genomas casi idénticos de humanos y chimpancés producen esencialmente las mismas proteínas en la mayoría de los órganos, excepto en partes del cerebro, donde (...) genera un conjunto de proteínas significativamente diferente mediante el empalme alternativo de transcripciones de genes “. (Ast, 2005, pág. 64).

Arribando ya a las contribuciones que ha hecho Kauffman se pueden resumir en cuatro que son: Reseña panorámica sobre los orígenes de la vida, Simulación y atractores dinámicos en redes reguladoras de genes, la coevolución de genes y los paisajes de aptitud.

Sobre los *orígenes de la vida* menciona existe “...un mundo no ergódico, en el cual sistemas muy simples átomos. al interactuar con moléculas, pueden producir una cantidad increíblemente alta de estado de materia orgánica. Unos 200 aminoácidos a lo mucho han dado origen a toda la vida que hasta ahora conocida en el Universo “ (Walker S., 2019).

La figura 5 muestra la relación entre el número de atracción y tipos de células y la cantidad de genes de bacterias a humanos.

Figura 5. Atractor de Genes y Células



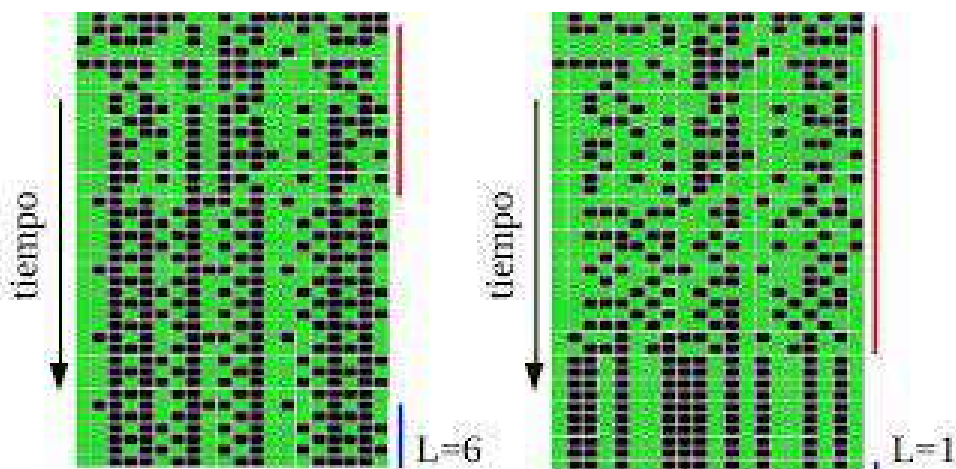
Fuente: (Kauffman, Antichaos and Adaptation, 1991)

Simulación y Atractores Dinámicos en Redes Reguladoras de Genes

Esta es otra de las contribuciones más importantes de Kauffman es el *modelo de simulación de redes genéticas* donde ... “cada gen está representado por una variable” g “que solo puede tomar dos valores: $g = 1$ si el gen se expresa y $g = 0$ si el gen no se expresa. Así, el genoma de un organismo “se enciende” y “apaga” con el tiempo de acuerdo con ciertas reglas lógicas que se construyen en base a la naturaleza activadora o represiva de los factores de transcripción de cada gen ”... (Aldama, 2007).

Su contribución más importante a la teoría de los sistema complejos es la creación del concepto de *atractores dinámicos*. A partir de una configuración en la que algunos genes están activados y otros desactivados, la red evoluciona con el tiempo. En figura 6, cada cuadro representa un gen, verde si está encendido y negro si está apagado, y cada fila corresponde a un estado de expresión de todo el genoma. Comienza en la primera fila y luego el genoma pasa por una serie de estados dinámicos hasta que se alcanza un patrón llamado atractor (Aldama, 2007).

Figura 6. Dinámica Genética de Atractores



Fuente: (Torres-Sosa, 2014)

Kaufman introdujo en su propuesta conceptos como el cierre de procesos vinculados para que cada uno impulse al siguiente en un ciclo cerrado. A partir de este supuesto, Kauffman formuló dos hipótesis:

Primera hipótesis: Los atractores dinámicos de la red genética corresponden a los diferentes tipos y / o estados funcionales de las células.

Y la Segunda hipótesis que es particularmente importante y fue lo que nos motivó a estudiar y especializarnos en sistemas complejos: La vida opera con dinámicas al borde del caos (Torres-Sosa, 2014).

Coevolución (Kauffman)

En un artículo publicado con (Kauffman & Johnsen, 1991) se estudió la coevolución de los genes de la clase MK utilizando modelos estadísticos con paisajes de aptitud física resiliente, en los que los genes N de un genotipo dependen de otros genes K.

En sus propias palabras:

"encontramos evidencia que si cada especie optimiza su propia aptitud sostenida, tales ecosistemas podrían acercarse a un estado crítico autoorganizado, equilibrado al borde del caos. Por lo tanto, debemos considerar una "meta dinámica" selectiva que esculpe la estructura de los organismos, a sus paisajes de aptitud, y crea

acoplamientos entre sí para lograr la coevolución de ecosistemas estructurados y equilibrados (..) y permiten la difusión de paquetes de cambio co evolutivo que crea especies nuevas.”(Kauffman & Johnsen, 1991, pág. 504)

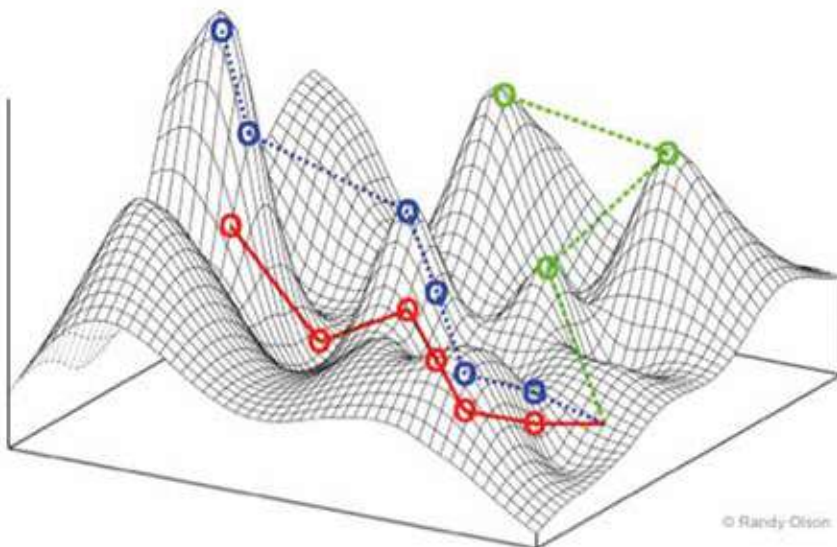
El Concepto de Paisajes de Aptitud

Si bien Write propuso *el concepto de paisajes* en 1932, los que propuso Kaufman varias décadas después. se ilustran en la figura 8, como una metáfora para describir los dominios de atracción en la dinámica evolutiva. En la figura se observan espacios de búsqueda y varios picos hacia los que la población estudiada puede evolucionar escalándolos. Desde entonces, *los paisajes de aptitud* se usan para medir la efectividad de *los algoritmos evolutivos* (Coello, 2014).

Además de los concetos, Kauffman proporcionó evidencia matemática para ver la aspereza de un paisaje genético adaptativo. Según Kauffman, una familia de funciones de aptitud puede tener una aspereza que se puede ajustar manipulando un solo parámetro del gen.

La figura 7 ilustra los paisajes de aptitud de Kauffman.

Figura 7. Paisajes de Aptitud



Fuente: (Wikipedia , 2019e)

El modelo NK de es un espacio combinatorio. Para cada cadena en este espacio de búsqueda, hay un valor escalar y un paisaje de aptitud. Si se define una métrica de distancia entre cadenas, la estructura resultante es un paisaje.

En 2012, Kauffmann desarrolló modelos estocásticos retardados de redes reguladoras genéticas basados en datos de expresión génica a nivel de molécula única.

Kauffman también tuvo una contribución notable al campo emergente de la evolución tecnológica acumulativa al introducir una matemática y conceptos de Anti caos, de adaptación en biología (Kauffman, 1991).

Finalmente y aunque es una propuesta muy menor comparado con las aportaciones citadas, debemos mencionar su propuesta para integrar *los diferentes estratos de las organizaciones*. Kauffman propone el Modelo de elementos de la organización que permite medir las brechas en el desempeño de las organizaciones. Aunque su modelo repite los 5 elementos básicos de la vieja teoría de sistemas: los insumos y procesos, y los productos, salidas y los resultados, su modelo tiene la originalidad de caracterizar los resultados en tres niveles: micro, macro y mega. En el nivel Mega a la sociedad. En el nivel Macro se encuentra los productos organizacionales que satisfacen a los clientes (Automóviles, graduados, producción agropecuaria etc,). A nivel Micro se encuentran los subproductos que permiten completar los productos solicitados por un cliente (tablero del automóvil integrada, cursos y exámenes aprobados).Ver figura 8.

Figura 8. Modelo de Elementos de la Organización



Fuente: (Kaufman, 2004) y (Instituto Tecnológico de Sonora, 2012)

La obra de Kaufman lo hace uno de los científicos que más han contribuido a la creación de conceptos únicos en sistemas complejos los cuales sustentan en matemáticas lo cual lo hace único.

FÍSICA: CRITICABILIDAD AUTO ORGANIZADA (PER BAK, CHAO TANG Y KURT WIESENFELD)

Per Bak, Chao Tang y Kurt Wiesenfeld (“BTW”) como otros de los pensadores que han hecho los más fascinantes descubrimientos en el campo de los sistemas complejos eran físicos de formación. De hecho, la prueba y la difusión del concepto lo hicieron en la prestigiosa *Physical Review Letters* en 1987 cuando acuñaron el concepto *criticabilidad auto organizada* para denominar a *los tipos de sistemas dinámicos y sus puntos críticos que actúan en forma de atractor para describir su evolución en el tiempo*.

..“*Los sistemas con criticabilidad auto organizada exhibe invariancias de escala espaciales y temporales típicos de una transición de fase, por ejemplo, el ruido 1/f...*” (Bak, Tang, & Wiesenfeld, 1987).

Los sistemas que *criticabilidad auto organizada* en distintas disciplinas científicas que van desde geofísica, la gravedad cuántica la evolución humana y animal la ecología, la sociología, la economía (Bak, 1996).

En la Administración también es posible observarla en los grupos autogestionados y en los grupos de reacción rápida como los SWOT que se usan para enfrentar amenazas terroristas donde dependiendo de los puntos críticos de ataque y situaciones los sistemas de auto organizan en un punto crítico.

Incluso es posible observar este fenómeno en el deporte como el fútbol cuando en una situación de crisis extrema el portero se suma al ataque y produce el gol a unos segundos de terminar el encuentro.

En la Figura 9, se ilustra la posición que guarda la criticabilidad auto-organizada convergiendo en un punto entre el caos y la catástrofe. La criticabilidad por lo tanto es un intermedio entre las variaciones de un sistema que tienen comportamientos continuos con resultados discontinuos.

Figura 9. Criticalidad Organizada



Fuente: elaboración propia a partir de (Bak, 1996).

Según sus autores una gran cantidad de sistemas como los hacen los sistemas termodinámicos en una fase crítica, a esto los físicos le llaman “*power laws*”, que se traduce como *leyes de potencia*. Estas leyes de potencia que explicaremos más adelante se mueven a un atractor del sistema que es un punto crítico.

Trabajos posteriores como los de Kah Mayt en 1995 al estudiar la extinción de la avifauna en Hawái lo validan. Así mismo, Shih- Kung- Loi lo observó en la evolución de ciudades y en otros sistemas como la propagación de incendios, en las epidemias, la difusión de rumores, los ataques especulativos a la moneda de un país y los terremotos.

Quizás lo más fascinante del trabajo de Bak es que con su hallazgo de los sistemas con criticabilidad auto - organizada se crea un concepto teórico que no existía. En la modelización de las *ciencias duras* se busca predecir con un conjunto de condiciones específicas. En las ciencias sociales, los científicos pretenden explicar las contingencias en los fenómenos sociales que permiten entender porque se inicia una revolución, porque la gente vota a un partido específico, porque reacciona de determinada manera a la violencia etc. La criticabilidad autoorganizada está en el medio y pretende estudiar sistemas que no modelables ni son predecibles.

Si bien cuando ocurre una catástrofe lo primero que se hace es busca al culpable o el evento detonador.

La extinción de los dinosaurios, la erupción del volcán Mánalo, el crack del 1929 se le suele atribuir a un golpe titánico que derriba los sistemas, sin embargo también lo puede hacer un alfiler o un evento que parece baladí ya que pese a que los sistemas de organizad de manera permanente acumulan pequeñas distorsio-

nes de entropía hasta que llegan el nivel que cualquier evento mínimo produce una Catástrofe. (Bak & Chen, 1991)

BIOLOGÍA : COMPORTAMIENTO CAÓTICO DE POBLACIONES (ROBERT MAY)

Robert May es uno de los investigadores con una de las mayores aportaciones a la Teoría del Caos. Aunque se le considera un biólogo, en realidad estudio dos carreras que no tenían que ver con ella; Ingeniería Química y Física Teórica en la Universidad de Sídney ya que era australiano. Con una sólida formación matemática se interesó en estudiar la dinámica de la población animal y la relación entre la complejidad y la estabilidad en las comunidades naturales.

Dentro de su gran obra escrita destacan su ahora clásico artículo publicado por la prestigiosa revista Nature en 1976 llamado: Simple Mathematical models with very complicated dynamics. Llego a la conclusión que: ecuaciones con simples diferencias no lineales pueden comportarse en un espectro de gran dinamismo tanto desde puntos estables, como por “cascadas de estabilidad” a un comportamiento caótico sin relación con procesos de tipo aleatorio (May, 1976).

May partió del teorema de Winger relativo a los valores de matrices aleatorias en bloque para demostrar que la estabilidad de un sistema biológico tiende a disminuir el número de especies de una comunidad.

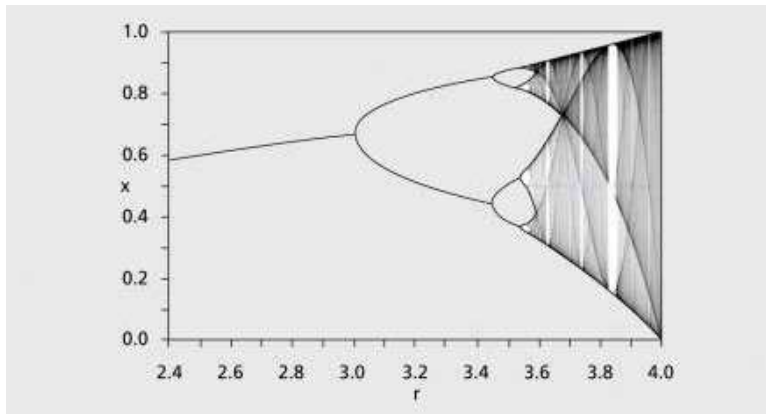
Su hallazgo lo resumió en la siguiente ecuación.

$$F(x) = r x (1-x)$$

May descubrió que un sistema biológica de comportamiento del sistema dinámico tendía a la complejidad según los valores de r , y evolucionaba hasta tener un comportamiento caótico.

Al aplicar su ecuación a la biología de poblaciones observo el comportamiento caótico que exhibe la figura 9 bis la cual dibuja un mapa logístico, de la estabilidad al caos y que es una de las más famosas de la ciencias de la complejidad.

Figura 9. bis. Comportamiento Caótico de una Población Ecológica



Fuente: (May, 1976)

Su hallazgo resultó muy influyente en la ecología teórica en las décadas 1970 y 1980. El primer artículo de Nature le motivó a publicar el libro *“Estabilidad y complejidad en ecosistemas modelo”*, en el que profundizó en el modelado matemático de ecosistemas. Los resultados sugirieron que la relación entre complejidad y estabilidad que no era tan sencilla como había argumentado estudios anteriores. La importancia del trabajo fue tal que el nombre de May ahora está acoplado al teorema de estabilidad de May-Wigner. Este libro resume los esfuerzos de los ecólogos que usan matemáticas para simular ecosistemas (May, 2019).

May se refirió a sí mismo como: *“un científico seleccionado por r: una persona en etapa inicial a la que le gustaba trabajar en campos donde podía hacer “cosas agradables y simples que se vuelven importantes”*.

Su trabajo hizo contribuciones a la física, la astrofísica, la ecología teórica, la biología de poblaciones, la dinámica de las enfermedades infecciosas y de los parásitos, la biodiversidad y las finanzas. Se consideraba un “ecologista accidental”, sin embargo, la inclusión de las matemáticas en la Biología permitió aumentar sustancialmente la comprensión de los ecosistemas complejos. Su trabajo impulsó grandes teorías unificadoras de sistemas ecológicos. Al final de su vida académica se refugió en el Instituto Santa Fe del cual fue fundador y llegó a ser presidente de la Junta de Ciencias. Sin embargo, su puesto más importante fue sin duda el haber sido Presidente de la Royal Society. Los ingleses que a veces son considerados racistas por personas mal informadas han sustentado la grandeza de sus universidades atrayendo y reconociendo a grandes talentos sin importar la nacionalidad. Esto no deja de ser una lección para los nacionalistas nativistas.

A lo largo de su vida recibió muchas distinciones dentro de las que destacó el Premio Crafoord de la Real Academia Sueca, equivalente en ciencias ecológicas a un premio Nobel. (Santa Fe Institute, 2020).

CIENCIAS POLÍTICAS: COOPERACIÓN Y TEORÍA DE JUEGOS (ROBERT AXELROD)

Fue profesor un especialista en ciencias políticas y políticas públicas en la Universidad de la Universidad de California, Berkeley. A lo largo de los años desarrollo una formación compleja como la gran mayoría de especialistas cuyo trabajo hemos descrito. Aunque recibió su doctorado en Matemáticas de la Universidad de Chicago, obtuvo otro doctorado en Ciencias Políticas de Yale. Fue el creador de juegos cooperativos y estrategias evolutivas aplicadas a la complejidad económica y la política. Su libro *La evolución de la cooperación* es un clásico en varias disciplinas. De la teoría de juegos a la ciencia política.

La Evolución de la Cooperación

Según (Dawkins, 1989). Axelrod estudió cómo la cooperación puede surgir y persistir. El estudio de la cooperación es en realidad un análisis psicológico que Axelrod llamó: la “biología del egoísmo y el altruismo”. Este debate humano entre ayudar o como dicen los españoles “ve a lo tuyo”. La cooperación puede ser evolutivamente ventajosa para todos los actores cuando deciden cooperar.

El trabajo de Axelrod realizó gran impacto varias ciencias sociales como la política y la economía e incluso la filosofía. Como dio origen a los llamados darwinistas sociales, quienes vieron en la “supervivencia del más apto” para justificar la necesidad de un capitalismo feroz donde cada individuo tiene que cuidarse a sí mismo condenó el “altruismo” y declaró que en realidad el egoísmo es un virtud para asegurar la supervivencia del más apto. Por eso la teoría de Darwin es un tema central en la teoría de la cooperación.

Otra de las aportaciones de Axelrod fueron sus torneos de cooperación. Se trata de repetir el dilema del preso más de 200 veces observando cuál es la actitud de los “presos” analizados si cooperan o no. A partir de este experimento repetido, llego a la conclusión de que, por lo general, se obtienen mejores perspectivas cuando hay esfuerzos cooperativos.

Según (Axelrod, 1984) .El dilema del prisionero está basado en la en la teoría de los juegos donde lo que alguien gana otro lo pierde, sin embargo en la vida real, no pasa lo mismo ya que la posibilidad de comportamientos posible puede ser más sofisticada.

Como conclusión de sus juegos cooperativos, identificó cuatro comportamientos típicos de los jugadores.

- 1) Ser amable: cooperar, y no ser el primero en desertar.
- 2) Ser provocador, devuelve el desafecto con la desertión y la cooperación por cooperación.
- 3) No ser envidioso: Enfocado en las ganancias obtenidas en su propio puntaje, sin considerar las ganancias que obtiene el socio.
- 4) Tratar de pasarse de listo

El trabajo de Axelrod tuvo muchas repercusiones en el campo de la alta política e incluso su trabajo fue estudiado en las estrategias de negociación en los tratados de reducción de armas nucleares que se hicieron en ese momento con la Unión Soviética. El Fondo de Cultura Económica publica su libro La evolución de la cooperación donde popularizo el dilema del preso (Axelrod, 1984).

Contra los que argumentan los neodarwinistas, parece que uno de los orígenes de nuestra cultura y la evolución futura de la especie humana está en la lucha con el gen egoísta que está en todos los seres humanos y es parte de nuestra herencia animal. Por tanto, debemos defender y enseñar el altruismo a nuestros hijos ya que no podemos esperar que forme parte de su naturaleza biológica (Dawkins, 1989).

Descripción del Dilema del Prisionero

El dilema del prisionero es en realidad un juego de cooperación entre dos personas que pueden ser también dos organizaciones, instituciones o países. Fue creado en 1950 por Merrill Flood y Melvin Dresher.

Se plantea esta situación: *“usted y un delincuente asociado a un delito cometido con un cómplice. Afortunadamente para usted se pierden las pruebas, por lo que sólo enfrenta solo seis meses de prisión. El fiscal quiere un culpable y ofrece” un trato “: si decides no delatar a tu cómplice y él te delata te castigan con 10 años. Si cooperas solo será seis meses de prisión. Si te callas y tu cómplice te abandona te caerán 10 años. Si ambos son denunciados, la prisión es de 5 años. Si el silencio es mutuo, serán*

dos años ambos, la pregunta es, ¿cuál es la mejor estrategia para minimizar tu encarcelamiento?, ¿cooperar, o no cooperar o?.. “ ---(Axelrod, 1984).....

Este juego se ilustra en la figura 10.

Figura 10. El Dilema del Prisionero

		PRISIONERO B	
		SILENCIO	TESTIFICAR
PRISIONERO A	SILENCIO	PRISIONERO A: 6 MESES PRISIONERO B: 6 MESES	PRISIONERO A: 10 AÑOS PRISIONERO B: QUEDA LIBRE
	TESTIFICAR	PRISIONERO A: QUEDA LIBRE PRISIONERO B: 10 AÑOS	PRISIONERO A: 5 AÑOS PRISIONERO B: 5 AÑOS

Fuente: (Black, 2013): (Axelrod, 1984).

El estudio de los juegos de cooperación tiene importancia en la complejidad ya que los procesos de decisión de actores que computen con recurso escasos resultan de enorme interés, para comprender los sistemas multi agentes.

ECONOMÍA: LA COOPERACIÓN EVOLUTIVA (SAMUEL BOWLES)

Samuel Bowles en uno de los economistas más originales e inspiradores. Desde el punto de vista ideológico podría ser llamado un raro economista norteamericano de izquierda. Ha sido elegantemente llamado postmarxista sin embargo, sus ideas son en realidad eclécticas.

Aunque por sus orígenes sociales podría ser calificado parte de la “upper class” norteamericana su trabajo desafió las doctrinas dominantes de su época criticando el paradigma de obtener la eficiencia a cualquier costo sosteniendo que la búsqueda ciega de la rentabilidad genera ineficiencias que con el tiempo generan distorsiones insostenibles moralmente.

Bowles estudió la evolución de las economías en los países asiáticos observando que, siendo más igualitarias, han superado con mucha diferencia a los países de América Latina que toleran una desigualdad brutal las cuales crean sociedades gobernadas por cleptocracias y elites políticas. Este cambio en las sociedades tomó solo unas décadas.

Bowles es incluido en nuestra lista de pensadores de la complejidad por sus trabajos sobre la coevolución de las preferencias. Son también relevantes sus estudios sobre desigualdades de renta, contratos incompletos y la gobernanza en empresas, mercados, familias y comunidades (Bowles, 1985).

En sus seductoras reflexiones Bowles tiene el mérito de asociar aspectos que solo a él se le han ocurrido tales como comparar la desigualdad y el éxito económico de los países con sus empresas y gobiernos municipales.

Según él las sociedades capitalistas modernas enfrentan una paradoja porque la desigualdad social se suele asociar al éxito económico de sus empresas vinculadas a un país, y la lucha contra la desigualdad impide conseguir la eficiencia. Sin embargo, en nuestra opinión esta no es una paradoja cuando el estado actúa como un regulador de las desigualdades mediante sistemas fiscales que sin castigar la eficacia compensen las oportunidades que suelen tener las clases más desfavorecidas.

Bowles hace apologías de las políticas públicas asiáticas, particularmente en Japón y en Corea del Sur.

“En Asia las inversiones en nutrición, salud y educación de niños pobres han producido no solo mayores oportunidades económicas si no también un mejor rendimiento de la economía. Con ello se demuestra que la desigualdad tiene efectos adversos, embotellando los incentivos a la producción y alimentando conflictos costosos entre aquellos la clase dominante y el ciudadano de a pie”. (Bowles, 1985).

Según Bowles en la naturaleza se observa que incluso cuando los animales cooperan para el bien común este comportamiento generoso y cívico se multiplica y propicia una evolución genética y cultural generando una especie más fuerte. Los Paleontólogos evolucionistas como Juan Luis Arsuaga afirman que los depredadores sociales como los leones, los lobos y los homínidos han sobrevivido a la extinción de su especie gracias a su capacidad de cooperar.

Samuel Bowles parece regresar a los temas que han obsesionado a los economistas clásicos, el desarrollo social y la riqueza de las naciones, la arquitectura

institucional en los países occidentales la evolución de las preferencias de las personas y las estructuras de mercado.

Sin embargo, a diferencia de las propuestas de economistas clásicos Bowles propone acciones de modelos evolutivos e la teoría de juegos, técnicas de sistemas complejos tales como la modelación de sistemas dinámicos, y que miden las consecuencias de las acciones individuales, el cambio tecnológico y el azar.

En su obra existen innovadores conceptos tales como: innovación institucional, preferencias sociales, las interacciones sociales ajenas al mercado, el capital social, el desempleo de equilibrio, las restricciones de crédito, el poder económico, los retornos crecientes y los resultados de desequilibrio.

Desde el punto de vista metodológico Bowles usa la modelación basada en agentes para describir la evolución de los mercados, los estados y las comunidades.

De su extensa obra son dos libros son los más recomendables: (2005) *Inequality, Cooperation and Environmental Sustainability*: Princeton University Press. (2006) *Globalization and Egalitarian Redistributio*, Princeton University Press.

FÍSICA: EL MODELO DE ESCALA (GOOFFEY WEST)

Geoffrey West es un físico teórico cuyos intereses primarios fueron las cuestiones fundamentales de la física, en especial las relativas a las partículas elementales, sus interacciones e implicaciones cosmológicas. Es fundador del Instituto de Santa Fe y fue nombrado Profesor Distinguido en 2003. Fue también creador del grupo de alta energía en el Laboratorio Nacional de Los Álamos.

Su fascinación por los fenómenos de gran escala de las que se ocupan las leyes de potencia que suelen seducir a los físicos implican lo mismo a la biología a escala genómica molecular, van de células a organismos completos y ecosistemas. Esto condujo al desarrollo de modelos cuantitativos realistas para el diseño estructural y funcional de los organismos basados en principios universales subyacentes. Sus trabajos van desde las leyes fundamentales en la biología (como el tamaño celular, el crecimiento, la tasa metabólica, las tasas de sustitución de nucleótidos de ADN, y la estructura y dinámica de los ecosistemas) a las preguntas en la vanguardia de la investigación médica (como el envejecimiento, el sueño y el cáncer). En el campo de las ciencias sociales cabe mencionar sus estudios de dinámica en ciudades y grandes conglomerados empresariales.

Una de sus aportaciones más estimables en coautoría con Jim Brown y Brian Enquist fue la propuesta del modelo de la escala aplicable al reino animal y vegetal.

..“Partiendo de la ley de Kleiber que encontró que la tasa metabólica de un gato no es cien o 21,5 veces mayor que un ratón, sino de 31,6 a 100 a la potencia de tres cuartos. Esta relación parece tener todo el reino animal, desde la musaraña de la ballena azul. West, Brown y Enquist ampliaron el hallazgo a los organismos unicelulares, descubriendo que se aplica a las propias células a las estructuras internas llamadas mitocondrias...” (West, Brown, & Enquist, 2001).

Aunque la teoría de la escala es fascinante en el resto del universo, las escalas se comportan con distintas velocidades y proporciones. Por ejemplo, al comparar a un hombre con una hormiga, -según él un hombre común y corriente a pesar de ser 10,000 veces más grande, solo puede levantar objetos que pesen no miles de libras como las hormigas sino solo cien libras. (En los juegos olímpicos hay excepciones a esta generalidad).

El gran hallazgo de West es que las cosas se comportan de manera diferente en diferentes escalas, pero hay formas ordenadas de escala - leyes - que conectan un reino a otro. El hallazgo de West y su grupo han supuesto una expansión en la biología.

Estas leyes de escala de un cuarto de energía han hecho evidente que algo muy general y simple estaba pasando. Después de tamizar a través enormes cantidades de datos recopilados durante los años en los informes agrícolas y forestales, Enquist encontró que el mismo tipo de escala de un cuarto de la energía ocurre en el mundo vegetal.

La evidencia encontrada sugiere que debido a la naturaleza matemática de las redes de los animales y los árboles utilizados para el transporte de nutrientes a todas sus células. Y del sistema circulatorio humano y de las raíces y las ramas de un árbol de aspecto los tres sistemas tienen un espectro muy similar. Lo difícil fue modelar con precisión los sistemas con solidez matemática y capacidad predictiva. Este es el valor del trabajo de West que lo diferencia de estas metáforas biológicas que los filósofos solo enuncian sin demostrarlas convincentemente (Johnson, 1999).

Inicialmente el modelo de escala solo funcionaba sólo para las plantas. Con las adecuaciones el modelo e hizo predicciones claras sobre los mamíferos. El hallaz-

go de la teoría de la escala sugiere con evidencia clara que la simplicidad común comienza a emerger.

Física de Materiales y el New England Complex System Institute: (Yan-ner Yan. Bar)

Bar-Yam aunque no es un creador de conceptos fundacionales ha desarrollado una obra de difusión de los estudios complejos y su obra apoyada por sus estudiantes en el New England Complex Systems Institute (NECSI) donde es presidente y fundador. La atracción que ejerce Boston y el MIT en los estudiantes de posdoctorado y algunos incautos (entre los que me incluyo) que hemos tomado sus cursos pensando el NECSI estaba vinculado al MIT. La labor del Centro sin embargo ha propiciado abordar temas como las propiedades unificadas de sistemas complejos con una estrategia sistemática para responder a las preguntas básicas sobre el mundo.

La contribución de Bar-Yam como creador de conceptos modesta sin embargo, pero su instituto ha trabajado en la teoría de la complejidad multiescalar cuantitativa, y en la teoría de la evolución (Ban- Yar, 1997).

FILOSOFÍA: LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD (EDGAR MORIN)

Su nombre verdadero es Edgar Nahun, sin embargo, se le conoce como Edgar Morin ya que en la segunda guerra mundial al participar en la Resistencia francesa, usando un seudónimo que lo protegiera de la posible represalias, le dijo a un compañero que se llamaba Edagar Manin adoptando el nombre del personaje del Escritor Andre Malraux de su libro "La condición humana". Su compañero de armas le entendió mal y le llamo *Edgar Morin*. Él no lo corrigió y lo adopto desde entonces y con este nombre ha pasado a la fama académica para ser uno de los sociólogos mas influyente particularmente en América Latina donde es lo más parecido a un Rock Star de la ciencia.

En el año 2021 cumplió 100 años y contando, a lo largo de su largo y prolífica vida académica, ha escrito una gran cantidad de libros objetos de culto y ha recibido una gran cantidad de premios y honores, merecidos por ser uno de los profetas de la complejidad que más ha contribuido a diseminar los conceptos de la complejidad, entre los herejes deterministas que pululan por todas las universidades y centros de investigación en el mundo.

A lo largo de su vida ha tenido una actividad política importante siempre abanderando las causas de la izquierda, sin por sus posturas críticas ante el estalinismo el partido comunista lo expulsó en 1952 fue en la que ingreso felizmente al prestigioso Centro Nacional de Investigación Científica de Francia

Desde los años sesenta viajo intensamente por toda América Latina, habla español con fluidez con el bello acento de ellos franceses y ello le granjeo una gran cantidad de seguidores en todo el continente.

Su formación académica en relativamente limitada ya que “solo” tiene dos carreras ambas en el campo de las ciencias sociales y aunque se le considera un “sociólogo” sus licenciaturas son en Historia y Geografía y a otra en Derecho. Sin embargo en realidad es un Filósofo cuyo discurso seductor y rompedor contra el determinismo en la ciencia consigue encantar hasta las serpientes.

Sus incursiones en América Latina culminan con sus tesis de la transdisciplinariedad que es uno de sus concepto que mas ha enriquecido el pensamiento complejo.

Morin parte de la integración de cuatro teorías que hemos explicado en este libro, la cibernética, la teoría de los sistemas de Bertalanffy, la teoría de la información y la Teoría de la autoorganización de Von Forester.

Según Morin la transdisciplinariedad es la única manera de comprender los grandes problemas globales.

El impacto de su obra es desproporcionadamente influyente en el mundo latino en comparación con la influencia que su obra ha ejercido en el mundo anglosajón. Es su libro *Introducción al pensamiento complejo* (1990) y *la Inteligencia de la Complejidad* (1999) Morin describe al mundo como un todo indisociable, donde el espíritu individual posee conocimientos ambiguos, desordenados, que necesita acciones retro alimentadoras y propone un abordaje de manera multidisciplinar y transdisciplinario para lograr la construcción del pensamiento que se desarrolla con un análisis profundo de elementos de certeza. Estos elementos se basan en la complejidad que se caracteriza por tener muchas partes que forman un conjunto intrincado y difícil de conocer (Morin & Parkman, 1994).

La obra de Morin tiene la gran virtud de promover que la complejidad en en realidad un mixtura de múltiples Ciencias. A diferencia de otros escritores que solo manejan los conceptos de la complejidad sin jamás medir nada ni identificar sólidamente patrones. Aunque en su obras se menciona la importancia del uso de los simuladores y las computadoras para comprender los fenómenos complejos

sus libros más bien son de filosofía. Su lectura nos impacta como el paseo por la playa que se interrumpe de repente por una ola que nos arrastra nos hace perder las gafas y nos arrastra al océano de sus críticas desbastadoras contra el conocimiento parcelario en el que somos educados tanto los estudiantes universitarios como los profesores e investigadores orillados por la ciencia moderna a la especialización que nos castra y nos impide navegar en el océano de las transdisciplina que nos ofrece su seductora obra.

La complejidad nos previene Morin tiene también altas dosis de confusión, desorientación, de nadar en un dédalo de espejos que invita a la rebelión y al desorden y a insurrección a la ciencia formal y determinista que nos puede convertir en agitadores de pasquín que se copia todos en los congresos de complejidad ad infinitum sus críticas superficiales que se convierten en una caricatura sin sentido, donde se hace necesaria la filosofía como integradora del conocimiento que aporta el determinismo que también resulta valioso.

Si bien la aportación de Morin es su crítica a la ciencia parcelaria actual que crea sabios ignorantes y soberbios por su dominio de un minúsculo espacio del saber, como filósofo reivindica el amor por el conocimiento y la necesidad de acrisolar y revindicar los saberes bajo el marco integrador de la filosofía.

El determinismo con todo es muy importante en la ciencia y como decía Prigogine, sin Determinismo no podríamos mandar Robots que son en realidad geólogos que pesan una tonelada y valen 2,220 millones de euros y que deben soportar radiaciones que ningún humano es capaz, además de que deben arribar a la tenue atmósfera marciana 100 veces menos densa que la tierra a 20,000 kilómetros por hora y en 7 minutos a de terror posarse suavemente en el suelo marciano. En el primer minuto al ingresar a la atmósfera su escudo térmico debe soportar una temperatura de 1300 grados, desplegar su paracaídas de casi 22 metros de diámetro, y a 21 metros del suelo, se deben desplegar unas cadenas de 7 metros de largo de las que cuelga el Rover para a 3 kilómetros por hora posar sus ruedas, sin que la grúa que lo trajo falle en encender sus cohetes y se vaya a estrellar lejos del Robot creado por humanos que nos darán evidencia “determinista” para sustentante con datos que hubo vida en Marte (Dominguez N. , 2021).

Figura 11. El Determinismo es Respetable.



Fuente: (Dominguez N. , 2021)

La Epistemología de la Complejidad

Según Morin la ciencia tradicional está fundada en 11 mandamientos de la simplificación:

El primer mandamiento es crear leyes que la convierten en un poder legislativo con las rigideces que caracterizan a las leyes jurídicas. Al buscar respuestas de carácter general la ciencia desestima lo particular y lo singular. En el afán de buscar explicaciones y leyes universales se atropella a lo específico. La reducción y la simplicidad generalizada opaca las singularidad..

El segundo mandamiento histórico y evolutivo de la ciencia asume que *el tiempo es irreversible* y todo evoluciona ascendentemente bajo paradigmas darvinianos que conciben la evolución a partir de una primera proto célula viviente. El pensamiento simplificador elimina el tiempo. Por el contrario, el pensamiento complejo lo considera que tiempo tiene ciclos repetición, progreso e incluso la decadencia.

El tercer mandamiento es el reduccionismo que considera a los sistemas como la suma de sus partes . Con ello desconoce el poder de la emergencia de nuevas propiedades que transforman a los sistemas. Hay cualidades que no existen en el nivel de las partes y solo se muestran mediante la interacción del todo.

El cuarto mandamiento es que el orden guía el universo. Todo lo que supone desorden, lo aleatorio, se considera un ruido incomprensible y no deseado cuando el desorden es una aurora de un nuevo sistema y fuente de la evolución. En la complejidad sin embargo, las variaciones orden y desorden no suponen una confrontación antagónica sino que se complementan y se necesitan.

Quinto principio. La causalidad es lineal y entre más simple sea un sistema resulta más comprensible y por lo tanto es mejor. Sin embargo, la complejidad es un conjunto de bucles causales que describen desarrollos múltiples.

Sexto principio. El todo no es Holo gramático ya que la imagen del todo no es el todo. Una célula contiene el ADN que explica el todo pero no como funciona los procesos cognitivos. La complejidad supone recursividad organizacional y una relación entre partes y todo.

Séptimo mandamiento. El pensamiento simplificante fue fundado sobre la disyunción entre el objeto y el medio ambiente (Morin, 2004).

Aunque Morin propone 11 mandamientos simplificadores se nota que se agota sus argumentos y los otros 5 principios son explicados de bulto de manera ininteligible. Sin embargo estos 7 mandamientos son repetidos hasta la extenuación en congresos por sus pregoneros y seguidores.

En el capítulo 9 regresaremos a estudiar otras aristas del pensamiento de Morin más interesantes y novedosas que estos 7 mandamientos criticados por Morin.

Para enfrentar a la “ciencia parcelaria” Morin propone cuatro principios que si bien no son ideas suyas como hemos visto si forma parte de conceptos relevantes para entender la naturaleza de un sistema complejo que son los siguientes:

1) *principio de la auto organización*: Los sistemas sociales se interrelacionan constantemente, se auto regulan y de adaptan constantemente en una continua adaptación a su contexto como una manera de auto preservarse.

2) *principio dialógico*. El orden y el desorden mantienen un dialogo y un cambio constante el cual no carece de azar e incertidumbre que no son en absoluto similares. Coexisten sin dejar de ser antagónicos. Son una dualidad en el seno de la unidad.

3) *principio de la recursividad*. Los sistemas complejos son a la vez causa que de lo que producen y viceversa. El efecto se vuelve causa, la causa se vuelve efecto. En los sistemas sociales las personas de manera individual producen cultura y la cultura colectiva a su vez afecta a los individuos y contribuye a su expansión. Los productos son productores.

4) Principio Hologramático. El todo no es la suma de las partes, sin embargo una parte contiene al todo.

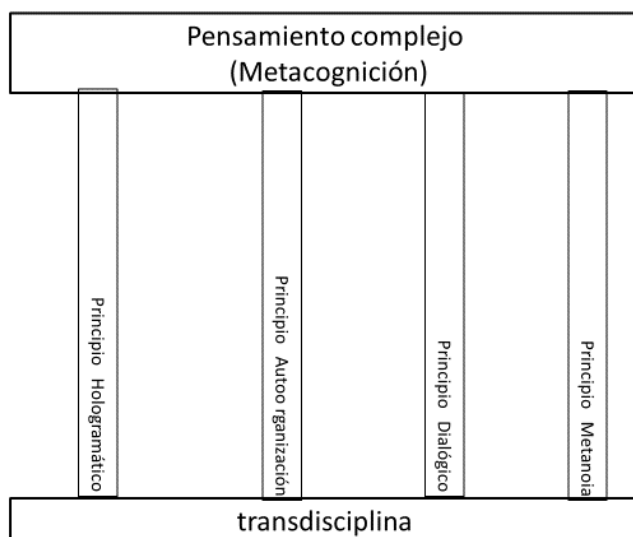
Los hallazgos de la genética le han dado la razón ya que el todo está en las partes y en las partes está el todo. En un hallazgo paleontológico un simple diente aporta el ADN que explica la constitución general de un homínido. Por ello el todo está en sus partes más minúsculos y cada parte permite comprender el todo.

Su libro más que ideas originales traduce y divulga los hallazgos de las 4 teorías de las que abreva su discurso seductor.

Adicionalmente a la divulgación de los cuatro interesantes principios Morin propone una Metanoia que exige que para abordar un problema complejo deben participar al menos tres disciplinas científicas distintas para aportar innovación, creatividad y perspectiva transdisciplinar.

En el mismo sentido propone también el uso de la metacognición para tomar conciencia del todo y mejora el desempeño individual ante la interceptación y análisis de la realidad. Estos principios articulados se representan en la figura 11 que forma parte del Pensamiento complejo versión 1, en el último capítulo incluyo tres principios que tomo prestados de otros autores que se explicaran a lo largo del libro y que constituyen su legado epistemológico.

Figura 12. Principios del Pensamiento Complejo de Edgar Morin (Primera Propuesta)



Fuente: Elaboración propia a partir de (Morin, 2004)

Una de las aportaciones más interesantes de Morin es su crítica a la sobre especialización que favorece el aislamiento de los científicos en un parcela del saber que solo les permite dialogar con sus iguales, que son otros especialistas como ellos, en congresos de especialistas donde predicán su saber entre conversos y cuyo éxito y reconocimiento en publicaciones e incluso con premios y contratos impulsa a los sistemas educativos a separar las disciplinas e impedir la inteligencia transdisciplinaria.

SOCIOLOGÍA: LA SOCIEDAD GLOBAL DE LA INFORMACIÓN (MANUEL CASTELL)

Manuel Castell es un sociólogo hispano-norteamericano cuya obra es relevante en nuestro panorama de la complejidad porque creó diversos conceptos para describir los cambios que se estaban produciendo a inicio del siglo XXI y que él denominó sociedad de la información.

Algunos de ellos - Consumo colectivo, espacios de los flujos - no tienen tanto interés para nuestro objeto de análisis. En los años noventa su trilogía de libros se volvieron unos auténticos *best seller* porque versaban por la entonces nueva era de la Información. En ellos, usó el concepto de *identidades legitimadoras, identidades de resistencia e identidades de proyecto versus la sociedad global en red. Desarrollo un argumento para explicar la lucha de colectivos sociales que se ven amenazados por la era de la información y la globalización, explicando la ferocidad de ciertos nacionalismos excluyentes y el surgimiento de la globalifobia, tanto en países emergentes como en desarrollo.*

La evidencia de sus argumentos no está basada en datos empíricos sino es resultado de un brillante análisis hermenéutico que los sitúa como largos ensayos que explican lo que pasaba en el mundo a finales del siglo XX cuando el internet, el correo electrónico y la web se popularizó y se hizo un bien público.

Sus libros distinguen las diferencias entre sociedad de la información y "sociedad informacional". Según (Castells, 2000) la información es una forma de comunicación del conocimiento, y lo informacional supone un proceso ordenado y sistemático donde la información se genera se procesa y se comunica. Tener mucha información disponible no significa estar informado. Lo informacional utiliza como vehículo a las tecnologías de información y comunicación conocidas desde entonces como TIC, y la sociedad de la información análisis y transformación en conocimiento, usando las llamadas TAC (tecnologías de aprendizaje y

conocimiento) que permite comprender los sistemas sociales que se han vuelto cada vez más complejos.

Otra idea propuesta por Castells es la relación ente la autonomía e internet. Según él hay seis dimensiones de la autonomía que son: Individual, empresarial, profesional de comunicación, sociopolítica y corporal. Cuanto mayor es la autonomía en sus seis dimensiones mayor es el uso de internet. Según él entre más se usa internet más autonomía existe. Esta apología acrítica de la web resulta sin embargo muy cuestionable y ha creado una de las mayores perversiones modernas que han creado un nuevo tipo de homínido llamado “homo videns” según Giovanni Sartori ya que consume unas bestiales cantidades de información y contenidos pero que no produce más que diálogos incoherentes e insulsos en las redes sociales a los cuales difícilmente se les puede llamar fuentes de conocimiento. Las llamadas *fake news* o noticias falsas o verdades alternativas inauguradas a raíz de la elección del presidente Donald Trump en 2016, son una de las consecuencias más tristes de la preminencia de lo falso y de lo como la mentira y las medias verdades que se asumen como verdadera por millones de personas. Los nuevos héroes de esta sociedad del espectáculo que ha criticado con brillantez Mario Vargas Llosa, ha creado un nuevo promotor de la información llamado *influencer* algunos de los cuales llegan a ser ricos unas auténticas celebridades en Face book y Twiter y recientemente en Tik Tok. Su diseño abierto y supuestamente gratuito son una nueva forma de dependencia cultural. Aunque reconozco su valor e importancia, decidí no tener cuenta en ninguna dada la enorme cantidad de tiempo que demanda y descubrir que me impedían pensar, reflexionar y escribir.

SOCIOLOGÍA: MODELO SISTÉMICO DEL MUNDO (IMMANUEL WALLERSTEIN)

Immanuel Wallerstein es un sociólogo norte americano de la rara y combativa izquierda universitaria norte americano junto con Noam Chomsky y Pierre Bourdieu. Según Wallerstein las ciencias sociales debe tener por objetivo percibir la realidad en el entorno social.

Su línea de investigación está orientada al estudio de la macro economía global y su postulación de la teoría de los ciclos económicos.

Es creador la *teoría del sistema mundo*, la cual construyo luego de estudiar los ciclos económicos del capitalismo desde el siglo XVI lo que le ha llevado a formular escenarios de evolución económica hasta 2050 y a proponer una nueva epistemología de las ciencias sociales

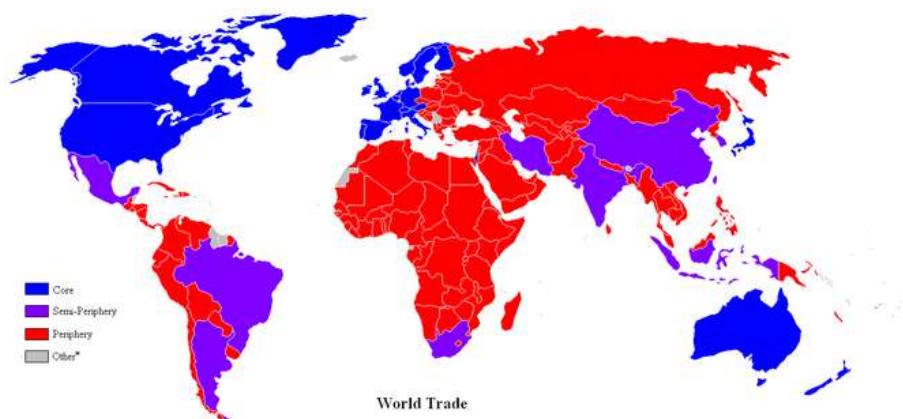
Su obra más importante, (*The modern world-system*) que podría traducirse mejor como *el modelo sistémico del mundo* y no la *teoría del sistema mundo* que suena horrible es un análisis teórico interpretativo, desarrollado de manera longitudinal en un espacio de 25 años en tres tiempos que coinciden con los tres tomos de la obra: 1974, 1980 y 1989. (Wallerstein, 2006)

Para Wallerstein no existe el “Tercer Mundo”, sino un mundo interrelacionado económicamente por eslabones que favorecieron la acumulación de capital al final del periodo del feudalismo, dio origen a la red mundial de nuestros tiempos.

Esta estructura de poder ha dado origen a un orden mundial basado en cuatro categorías: de núcleo, semi-periferia, periferia y países externos. Los países Núcleos monopolizaron la producción intensiva en capital, y el resto del mundo sólo podría proporcionar la mano de obra y los recursos primas. La desigualdad resultante reforzó desarrollo desigual existente.

Dentro de los países Núcleos están tales como: EU, Canadá y la Unión Europea y Japón. Países de la Semi periferia integrados a la red mundial, pero con un papel de seguidores. Allí están México, Brasil China India Sudáfrica y Argentina. Existen Países periféricos, que a pesar de ser muy importantes históricamente como Rusia y las 15 republicas que conformaron la Unión Soviética, África y Medio Oriente con la excepción de Israel y Jordania. Existe también según él una cuarta categoría de países sin una integración clara como Suiza, las Antillas Neerlandesas, las Guyanas, El Atlas Marroquí (se ve que nunca viajo para allá ya que pertenece claramente a este precioso país) e Islandia. Ver figura 11.

Figura 11. El Modelo Sistémico de Wallestrein



Fuente: (Chase- Dunn, Kawano, & Brewer, 2000)

Según Wallerstein, la Revolución francesa es el gran hito de transformación ya que obligó al capitalismo brutal a transformarse y fue en realidad una “revolución anticapitalista”. La mayor expansión de la red económica mundial ocurre en la época del imperialismo, que le dio universalidad al capitalismo bajo la égida europea, después de 1945 bajo el dominio norteamericano. En nuestros días su propuesta de sistema-mundial capitalista ha perdido la homogeneidad que refiere en términos culturales, políticos y económicos; debido a que hay grandes brechas de poder influencia política y económica dentro de la misma Unión Europea, en América Latina e incluso entre estados de la Unión Americana.

De acuerdo con Wallerstein en la batalla ideológica que se desarrolló en los últimos siglos en el mundo de conservadurismo, el liberalismo y el radicalismo/ socialismo, favoreció diversas velocidades en los cambios sociales. Luego del colapso la Unión Soviética en 1989, el nuevo modelo capitalista que incluye a Rusia, distingue dos grandes modelos dominantes: el de la Unión Europea y el de los Estados Unidos (Wallerstein, 2007). Esta opinión de sin embargo es controversial porque el modelo capitalista es muy distinto en América Latina donde existen grandes diferencias de modelos políticos e importancia económica y en la práctica se encuentran gobernados por partidos que agrupan a elites que constituyen regímenes plutocráticos que exagera las desigualdades.

El trabajo de Wallerstein no ha estado exento de críticas que vienen de cuatro corrientes: Los positivistas critican un enfoque simple demasiado generalista donde hacen falta datos empíricos. Los marxistas desestiman su concepto de clase social. Los autonomistas estatales critican que la teoría no defina límites entre el Estado y las empresas. Los culturalistas argumentan que la teoría está demasiado enfocado a la economía y el comercio y desestima la cultura.

Con todo y lo acertado que resultan alguna de estas críticas el modelo de Wallerstein aporta varios conceptos relevantes entre ellos destaca el de “capitalismo organizado”. Y sus reflexiones en cuatro áreas principales: 1) La relación entre la sociedad y el espacio, 2) el cambio económico y social en las sociedades capitalistas occidentales, 3) el estudio del impacto económico y social del turismo en las sociedades contemporáneas, 4) la influencia de la telefonía celular la sociedad. Sus libros tienen aportaciones a la teoría de la complejidad en particular: *Global Complejidad* (2003), y “complejidad”, un número doble especial de *Teoría, Cultura y Sociedad* (2005). Su mayor aportación sin embargo es el concepto de *complejidad global* y por ello consideramos de interés destaca sus ideas y su sistema mundo (Urry, 2003). La figura 12 ilustra su polémica propuesta.

Figura 12. Sistema Capitalista Global



Fuente: (Perez- Ventura, 2013)

Finalmente para cerrar este capítulo el cuadro muestra los libros y artículos más influyentes en las ciencias sociales y la complejidad.

Capítulo 5.

Quinto Tributario: La Teoría de Redes

Este capítulo que es el más extenso del libro porque es donde ha estado centrada mi investigación en sistemas complejos y ha sido organizada en cuatro partes: En la primera describo a los creadores de la Teoría de grafos Paul Erdős y Alfréd Rényi, en la segunda y tercera parte presento un modelo LART de estructura y dinámica de redes inspirado en el trabajo de Mark Newman y Lezlo Barabási y finalmente en la cuarta parte menciono a los creadores de los conceptos más relevantes en Teoría de redes, Stanley Milgram, Mark Granovetter, Barry Wellman, Steve Strogatz y Duncan Watts, Pinter-Wollman y análisis de redes animales y Seven Everton y las redes oscuras,

TEORÍA DE GRAFOS (ERDŐS Y RÉNYI)

Paul Erdős y Alfréd Rényi, fueron dos matemáticos en la década de los 60 crearon la Teoría de Grafos Antecedente de la actual Teoría de Redes. Alfred Rényi de origen húngaro sobrevivió a la barbarie nazi,. En el mundo de las matemáticas *Rényi* aportó *las entropías que llevan su nombre y que explican* la diversidad de conexiones de las estructuras fractales . Aunque entre solían ser muy raras en su época escribió más 32 artículos con Paul Erdős, entre ellos el *modelo de Erdős-Rényi* que constituye el sustento teórico para crear grafos aleatorios.

Paul Erdős húngaro y judío también sufrió no solo acoso nazi por sus orígenes al igual que su colega, sino del Macartismo en la década de los 50's en los Estados Unidos. Fue profesor de varias universidades entre ellas: las de Manchester, Princeton, Purdue y Notre Dame. Su talento único fue cultivado por sus padres, ambos matemáticos, fue educado con delectación y un cuidado infinito por su madre. Salió de Hungría a la cual nunca regreso formalmente. Se afincó un tiempo en Estados Unidos pero la locura del Macartismo le impidió volver. Desde joven desarrolló una costumbre única que lo distinguió toda su vida que fue la de visitar a sus colegas matemáticos en distintos lugares del mundo. Entre otras cosas porque no tenía casa. Aunque gano muchos premios por su increíble talento, era de una generosidad equivalente y todo su dinero lo donó a diversas asociaciones y fundaciones. Su productividad es increíble. En su vida publicó más de 1,500 trabajos científicos de las cuales 500 fueron coautorías.

El impacto de su obra en matemáticas es tal que fue creado el *número de Erdos* que como un homenaje que tiene un trasfondo que lo asemeja a un Gennis Kanh de las matemáticas. El numero Erdos es una progresión de colaboración científica, parte del propio Erdos que es 0, todos sus colaboradores en algún artículo tienen un 1, alguien que haya publicado con algunos de sus colaboradores tiene 2, y así sucesivamente. El 90% de los matemáticos en activo tiene un numero de hasta 8, lo que ilustra su legado.

Es uno de los pocos matemáticos del que hay una película sobre su apasionante vida llamada: *El retrato de Paul Erdős* y el número N.

Al igual que Newton nunca se casó, ni tuvo esposa, ni hijos. *Su amor y su pasión fueron las matemáticas.*

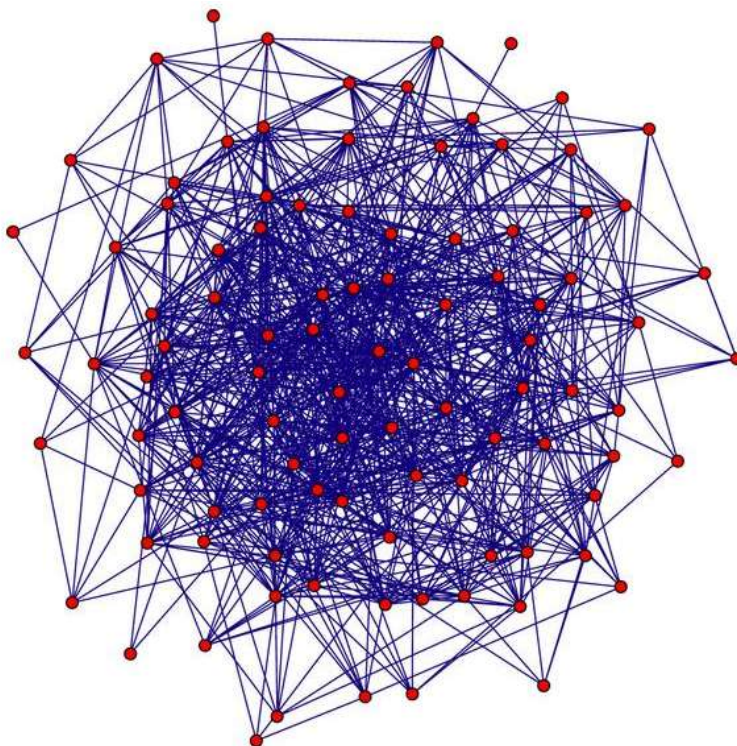
Modelo Erdos – Renyi

Este modelo Erdős–Rényi es muy importante en la historia del análisis de redes porque asombrosamente fue el único que existió durante casi 60 años. (Erdos & Renyi, 1959). Esto ha hecho que algunos investigadores actuales que trabajan en redes complejas, erróneamente, le sigan refiriendo a la Teoría de Redes Complejas “Teoría de Grafos”. En 1950 se pensó que las redes de grafos podrían describir la mayoría de las redes complejas, sin embargo pronto se comprobó que no era así. *La eclosión del internet demostró la existencia de redes de escala abierta donde la teoría de grafos resulta insuficiente.*

La principal limitación del modelo es que sólo funciona en redes con clausura operativa. La teoría de grafos permite describir una red compleja ‘pero es incapaz de explicar su evolución. En la actualidad se le considera un modelo excesivamente teórico ya que las redes complejas en la vida real ni son regulares ni totalmente aleatorias, son redes abiertas para las cuales la teoría de grafos se queda corta y se ha vuelto ya solo un antecedente que se aplica a una cantidad muy limitada de casos en sistemas cerrados.

En problemas de ciencias sociales el comportamiento de las redes el modelo asume siempre una distribución probabilidad tipo Poisson, y en las redes de la vida real asume una distribución exponencial que resulta un más armoniosa. La figura 1 muestra una red aleatoria bajo el modelo Erdos – Renyi que consta de 100 nodos realizado con el software de redes PAJEK (Batagelj & Mrvar, 2020). En esta red el coeficiente de agrupamiento que es una métrica relevante en grafos clausurados es 0.3615.

Figura 1. Red aleatoria tipo Erdos - Renyi



Fuente: (Antoniou & Tsompa, 2008)

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE REDES

Existen tanto en la teoría de grafos como en la teoría de redes distintos conceptos que en la literatura se usan de manera intercambiable. Sin embargo hemos considerado importante definirlo porque no son lo mismo ya que la teoría de grafos tiene un alcance limitado en el tiempo. Hay seis elementos que componen una red: Nodo (vertex), Enlace o Arco (Edge), Grafo (graphs), Centro de actividad (Hub) e Isla (Island).

Nodo (Vertex): Es el punto fundamental de una red. También es llamado vértice.

Enlace (Edge): Línea que conecta a dos nodos. También llamado vínculo.

Grado (Degree): número de vínculos conectado a un nodo.

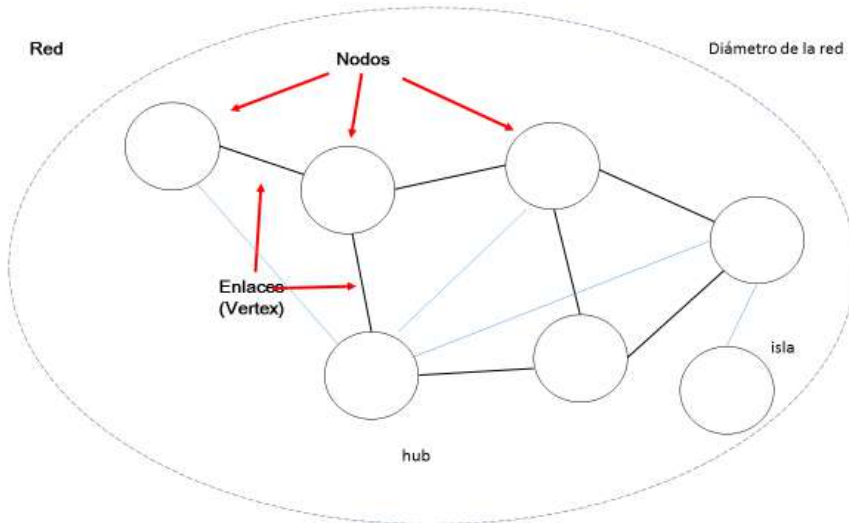
Red (Graph o Network): Conjunto de nodos relacionados.

Nodo central (Hub): Es un nodo altamente conectado que puede ser traducido como centro de actividad.

Diámetro de la red. Es la extensión total de la red.

Estos conceptos se ilustran en la Figura 2.

Figura 2. Elementos Básicos de una Red



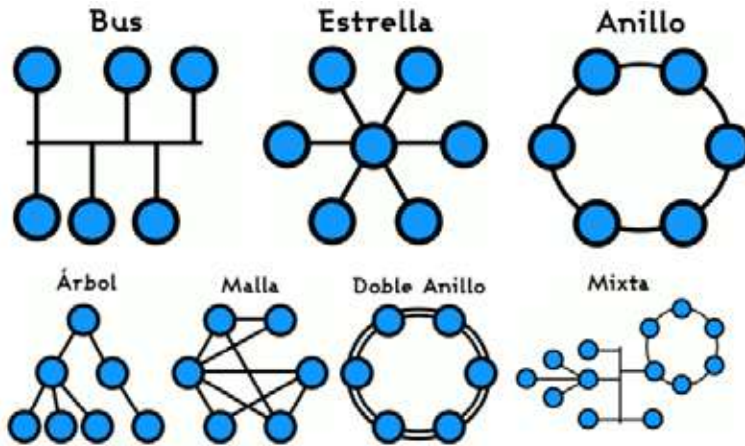
Fuente: Elaboración propia

Definición de Red Compleja:

Una red compleja es un conjunto de nodos que interactúan entre sí, y que presentan elementos convergentes que determina un patrón de conducta colectiva, generando un efecto conjunto

En la Figura 3 se representan distintos tipos de redes que van del tipo bus, estrella, de anillo simple y doble, árbol, de malla, y mixta.

Figura 3. Diferentes Tipos de Redes



Fuente: (Redes, 2015)

Según (Newman M. E., 2003) hay tres tipos de redes: Redes humanas, redes informáticas y redes biológicas, las cuales se muestra en el cuadro 1.

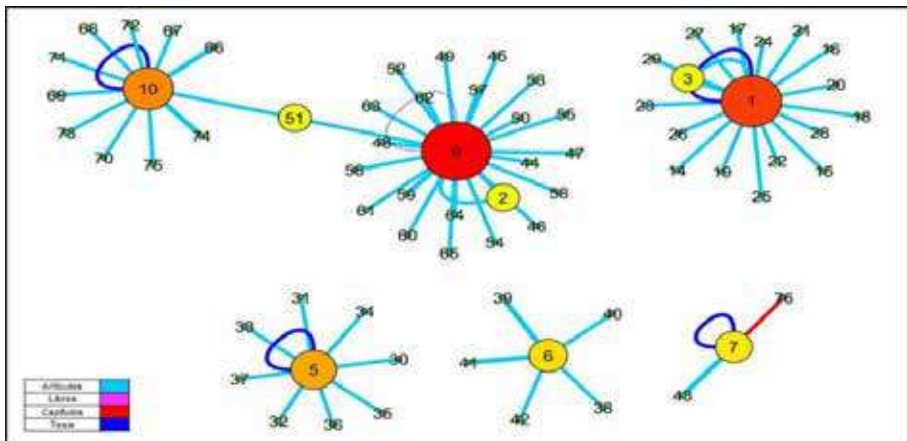
Cuadro 1. Tipos de Redes

Tipos de Redes	
Redes Humanas	
Redes Sexuales	Dos personas están conectadas si por lo menos han sostenido una relación sexual
Redes de Amistad	Dos personas están conectadas si son amigas
Redes Científicas	Dos científicos están conectados si han sido coautores en un trabajo científico
Redes de Actores	Dos actores están conectados si han actuado en una película
Redes informáticas	
Internet	Dos computadoras están conectadas si hay un clave las vincula a una red LAN
Páginas web	Dos páginas web están conectadas in existe un hipervínculo entre ellas
Redes biológicas	
Redes Genéticas	Dos genes están conectados si uno regula la expresión del otro
Redes Ecológicas	Dos especies están conectadas si una se come a la otra

Fuente: (Newman, 2003)

Concepto de isla: Una isla es una red secundaria de una red compleja. En una red compleja pueden existir nodos que estén aislados pero que pertenecen a la red. Ejemplo en la escuela donde trabajo yo me suelo relacionar con un grupo de profesores que publicamos juntos por tener los mismos intereses, sin embargo, existen otros profesores que, aunque seamos amigos, nunca he publicado. En la Figura 4 ilustra una red con tres islas.

Figura 4. Una Red con Tres Islas



Fuente: (Cardenas- Tapia, 2016)

Un aspecto metodológico muy relevante a tomar en cuenta es que en red compleja hay tres campos de análisis: sus propiedades, su estructura y su dinámica.

Propiedades de una Red Compleja

El aumento de los estudios y las teorías sobre redes ha dado origen a diversas clasificaciones y aspectos a evaluar en una red. Según Newman (2003) son cinco: Distribución de conexiones, la Conectividad de Nodos, Coeficiente de Agrupación, Longitud Promedio y la Distribución del Tamaño de Islas.

1. La Distribución de Conexiones. Es la probabilidad que un nodo elegido por azar tenga k conexiones.
2. La Conectividad. Es la capacidad de estar conectados a un tercer nodo.
3. La Longitud Promedio de la Red: Es el promedio de las longitudes mínimas L_{ij} entre todas las posibles parejas de nodos (v_i, v_j) de la red.

4. La Distribución del Tamaño de Islas: Es la probabilidad que una isla está compuesta por S nodos.

El cuadro 2 resume las métricas que identificó (Newman, 2003) en su ya multicitado artículo: N es el número total de nodos, M es el número total de vínculos, z: es la distancia media entre nodos, l: tipo de Figura (directa o indirecta). Alfa el exponente del grado de distribución, c1 el grado de agrupamiento y r: es el grado del coeficiente de correlación.

Cuadro 2. Variables en Redes Sociales, de Información, Tecnológicas y Biológicas.

	Red	Tipo	N	m	z	l	Alfa	c2	r
Sociales	Actores	indirecta	449,913	25,516,482	113.43	3.48	2.3	0.78	0.208
	Coautoría en matemáticas	indirecta	253,339	496,496	3.92	7.57	-	0.88	0.120
	Relaciones estudiantiles	indirecta	573	477	1.66	16.01	-	0.001	-0.029
	Relaciones sexuales	indirecta	2810	-	-	-	3.2	-	-
Información	Mensajes de email	directa	59,912	86,300	1.44	4.95	1.5/2.0	0.16	-
	Www.nd.edu	directa	269,504	1497,135	5.55	11.27	2.1/2.4	0.29	-0.067
Tecnológicas	Rutas de tren	indirecta	587	19,603	66.79	2.16	-	0.69	-0.033
	Pares revisores	indirecta	880	1296	1.47	4.28	2.1	0.011	-0.306
Biológicas	Web de comida marina	directa	135	598	4.43	2.05	-	0.23	-0.263
	Red neuronal	directa	307	2359	7.68	3.97	-	0.28	-0.226

Fuente: *Elaboración propia a partir de* (Newman M. E., 2003)

Newman cita múltiples investigaciones que se ha realizado en distintos campos del conocimiento que van desde redes sociales como las de los actores, los coautores de artículos en matemáticas, las relaciones entre estudiantes en un campus, las relaciones sexuales de un grupo de un club de karate, así mismo, apa-

recen en las redes de información tales como los mensajes enviados de e mail o la red de relaciones en entre universidades. En el campo tecnológico están las rutas de tren en Estados Unidos, la red de revisores de una revista científica prestigiosa. Así mismo, se observa en las redes biológicas, tales como las páginas web de empresas que venden comida marina o las redes neuronales. En todos los casos se analizan las siguientes variables: N es el número total de nodos, M es el número total de vínculos, Z: es la distancia media entre nodos, L: tipo de Figura (directa o indirecta). Alfa el exponente del grado de distribución, C1 es el grado de agrupamiento y R: es el grado del coeficiente de correlación.

MODELO LART DE ESTRUCTURA Y DINÁMICA DE UNA RED COMPLEJA

Puesto que es fácil perderse entre tantas métricas hemos resumido en la Figura 5 la estructura y dinámica de una red compleja para que pueda ser comprensible como está organizada y se comporta una red compleja. Según el modelo LART el conocimiento y estudio de una red compleja supone estudiar nueve variables de estructura y cinco de dinámica ya que la redes se trasforman en el tiempo, evolucionan envejecen y mueren en el olvido.

Este modelo inspirado básicamente en los trabajos de Newman y Barabási y es la manera que recomendamos usar para no perderse en el nebuloso panorama bibliohemerográfico de las redes complejas donde hay muchas clasificaciones y propuestas.

Figura 5. Modelo LART sobre la estructura y dinámica de una red compleja



Fuente: *Elaboración propia a partir de* (Newman, 2003) *y* (Barabasi L. A., 2015)

Estructura y Dinámica de las Redes Complejas

El modelo LART sigue la propuesta de Mark Newman, un físico británico formado en la Universidad de Oxford ha sido profesor de la Universidad de Cornell, Universidad de Michigan, y del Instituto de Santa Fe. Newman quién ha realizado grandes contribuciones a la comprensión de las redes complejas con su propuesta de estructura y propiedades de las redes complejas, así como su investigación sobre los patrones de colaboración de científicos, teoría aleatoria, mezcla selectiva, la estructura de la comunidad, la teoría de la percolación y epidemiología de la red. Aunque el trabajo de Newman es deslumbrante ya que ha estudiado temas tan disímolos como el riesgo de incendios forestales y el comportamiento social de los delfines en Nueva Zelanda, así la cooperación de publicaciones en una comunidad científica. Como buen físico ha trabajado también con las distribuciones de ley de potencia en sistemas complejos, estudiando la distribución de la riqueza, los tamaños de las ciudades, y la frecuencia de las palabras en idiomas, elección presidencial estadounidense de 2004, e incluso las asociaciones entre las organizaciones terroristas. La influencia de su trabajo es también enorme y se ha aplicado a una variedad de campos, incluyendo la psicología, la sociología, la economía y la biología (Newman, 2003).

El modelo LART está inspirado en su extraordinario artículo *“La estructura y función de las redes complejas”* el cual recibió el mayor número de citas de cualquier artículo en matemáticas entre 2001 y 2011. También escribió un libro que resume sus artículos y que tiene el mérito de reunir por primera vez un conjunto de sus artículos seminales que representa la investigación de todas estas disciplinas. Es una referencia de lectura obligatoria para los que aspiran a ser expertos en la creación, análisis e interpretación de las redes complejas.

A partir de este modelo explicaremos cada una de las variables de estructura y su dinámica.

VARIABLES DE LA ESTRUCTURA DE LAS REDES COMPLEJAS

1) Variables de centralidad de una red

La tesis de (Cano, 2019) que tuvimos el honor de dirigir, resume los autores que han postulado propuestas sobre las variables que miden la centralidad de un red compleja. (Freeman, 1977) menciona tres métricas: la eficiencia del grupo, la percepción de liderazgo y la satisfacción personal en una red. Es necesario men-

cionar que esta definición de Freeman ha quedado un poco “demodé” ya que la formuló con base en la antigua teoría de grafos desconociendo por tanto los estudios publicados con posteridad sobre la teoría de redes, es por ello la citamos solo como un antecedente.

Para (Krackhardt & Borgatti, 2005) existen cuatro variables de centralidad; el grado nodal, el grado de cercanía, el grado de intermediación y el eigenvector que debe entenderse como el nodo más relacionado (el mas popular) si fuese una persona. Para Abbasi, Altmann yHossain (2011) son : Centralidad de Grado, Intermediación, Proximidad y Eigenvector.

Chung y Hossain (2012) proponen solo dos: La Centralidad de Grado y el Eigenvector.

Badar, Hite y Badir mencionan tres: la Centralidad de Grado, la Proximidad y la Intermediación.

Cimenler, Reeves y Skvoretz (2014), coinciden con Abbasi et. Al y proponen también la Centralidad de Grado, la Intermediación, la Proximidad de Nodo y el nodo con la puntuación más alta, esto es el Eigenvector.

Por lo anterior, podríamos proponer considerando las variables de centralidad de una red, son:

- A. La Centralidad de Grado (Degree centrality)
- B. La Proximidad de Nodo (Closeness)
- C. La Intermediación también se citan como (Betweenness)
- D. La Influencia de Nodo también se cita como (Eigenvector Centrality).

Estas métricas de centralidad se ilustran en la figura 6.



Fuente: Elaboración propia

La Centralidad de Grado (Degree Centrality) es la primera y más simple de las medidas de centralidad. Y mide el *Número de Enlaces* que posee un nodo con los demás. Nos indica qué nodo tiene mayor cantidad de enlaces entrantes y salientes. La Centralidad de Grado no implica reciprocidad, por ejemplo, yo soy admirador de Vargas Llosa, pero él no lo es mío. Estos nodos tienen muchas entradas y salidas. En la figura 6 este rol lo desempeña Javi.

En el análisis de redes sociales las entradas suelen indicar popularidad, y las salidas sociabilidad. El grado de centralidad en redes sociales se acostumbra medir por el número de amistades que posee cada persona que la hace “popular”. En el análisis de propagación de un virus puede medir el riesgo de ser contagiado. En las redes científicas puede significar el liderazgo académico que ejerce un investigador.

La Centralidad de Grado se representa con la n minúscula, y operativamente es el *número de enlaces que recibe un nodo* definiendo con su influencia en una red. A mayor grado de centralidad nodal mayor influencia e importancia de un nodo.

Cercanía nodal (Closness). Mide lo cerca que una persona está dentro de una red en términos prácticos se refiere a la cantidad de “amigos de amigos” uno tendría al relacionarse con otra persona. Numéricamente una persona con cercanía tiene en promedio menos grados de separación para llegar a todos en la red. La persona que tiene cercanía nodal pueden ser líderes en una comunidad. No son necesariamente figuras públicas o políticos sino que son líderes comunitarios que diseminan información o productos en su comunidad. En la figura 6 este rol lo representa José.

Intermediación (Betweenness Centrality). Esta es una de las variables más relevantes de la teoría de redes y mide el número de veces que un nodo actúa como un *punte* entre otros dos nodos. La métrica fue creada por Freeman en el año 1977 y aunque él lo concibió para destacar el control de la comunicación que ejerce una persona sobre una red social. La intermediación puede ser aplicada a empresas, bacterias, células, neuronas o computadoras (Freeman, 1977) El grado de intermediación, según (Newman, 2003). Es la capacidad que tiene un nodo para controlar la comunicación, o influir en los miembros de la red.

Los nodos con una alta intermediación, tienen un rol un papel fundamental en una red que gestiona grandes flujos de información también les llaman agujeros estructurales (*structural holes*), ya que estos nodos un papel de *intermediarios críticos* que controlan flujo de información que en inglés se llama *Gate keeper* (guardián). Una persona con una alta intermediación es un puente entre dos comu-

nidades o entre dos países. En la vida real son persona con una alta inteligencia emocional y social que es capaz de hablar varios idiomas o tener contacto con grupos muy especializados por su formación multidisciplinaria. Es lo que se llama en inglés un *broker*. Es decir, un intermediario estratégico. En la figura 6 este rol lo representa Magali.

Eigenvector. Ilustrado también en la figura 16 mide la *influencia* de un nodo en una red. El concepto fue creado por Bonacich en 1972. En la vida real este nodo si se trata de una persona muy competente a la cual todos recurren o un supervisor intermedio que requiere ser consultado por norma (Bonacich, 1977).

Estos nodos se identifican para difundir información relevante o de una manera más perversa, divulgar rumores. En la vida real un eigenvector es un formador de opinión y una persona que orienta sobre lo que se debe hacer. Todos lo suelen escuchar. En el mundo de la política puede ser un columnista crítico muy prestigioso por su independencia y acidez.

El Eigenvector es el nodo más relevante de una red. Esta medida es similar al criterio que usan los buscadores para clasificar la paginas web llamado Ranking de página Page Rank. Si un nodo está unido a nodos muy importantes factor eigenvector alto. En la figura 6 el honor de ser un eigenvector le corresponde a una persona llamada Lila.

Es importante aclarar que nodos con más centralidad, son más relevantes por el grado de cercanía entre los miembros de la red, que nodo es el más influyente y cuál de ellos es crítico para que la red se mantenga unida.

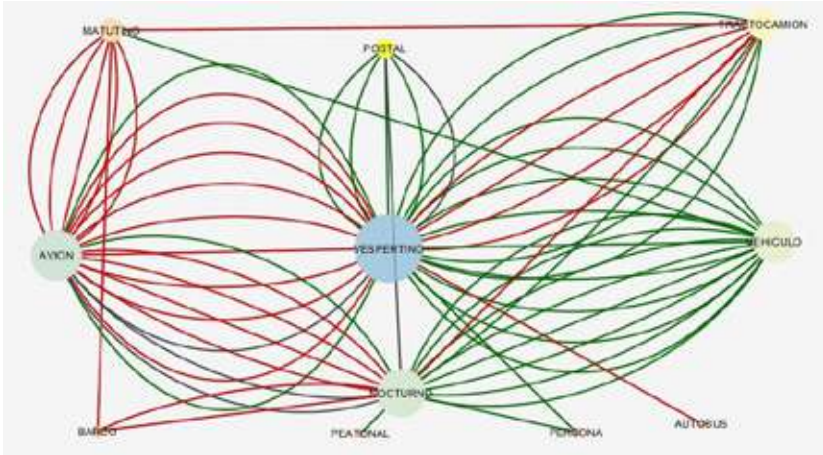
La relevancia de estas métricas consiste en que solo con el análisis de redes podemos ver la extensión de la red y la importancia relativa de cada nodo de una red compleja.

Algunos ejemplos prácticos del uso de estos conceptos son dos aplicaciones que hemos realizado en el Laboratorio de Evolución Organizacional integrado por mis tesis ahora Doctores en su mayoría. La primera investigación, estudiamos los patrones de ocultamiento del tráfico de drogas en las aduanas de México en 2013 y la otra se evaluó la cooperación entre redes científicas en los centros de investigación de la Red de investigadores de Medio Ambiente de la Universidad Tecnológica más grande de México, que es el Instituto Politécnico Nacional, ambos trabajos de tesis mis estudiantes de Maestría y Doctorado.

En la figura 7 se ilustra en la investigación realizada por García- Garcilazo para estudiar los patrones de ocultamiento en el tráfico de drogas en las aduanas de

México que el grado nodal del turno vespertino es el más alto, por avión y vehículos. En el turno matutino hay detección en barco trastrocamientos y vehículos.

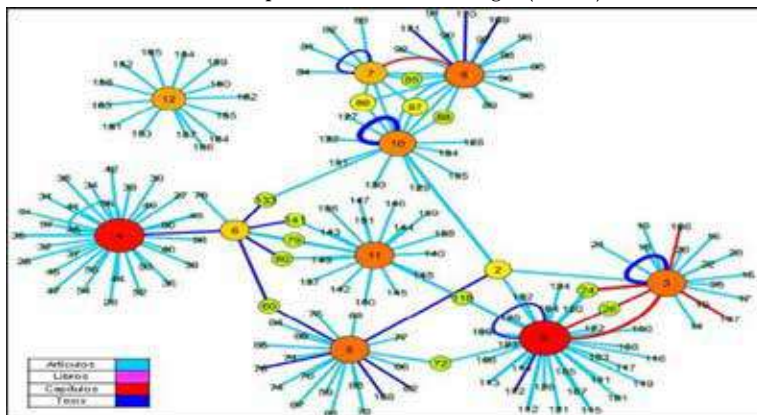
Figura 7. Grado Nodal de los Patrones de Trafico de Drogas por Turno de Trabajo en las Aduanas de México



Fuente: (Garcia- Garcilazo, 2018)

En la Figura 8 se ilustra el grado de intermediación que (Cardenas- Tapia, 2016) identificó al estudiar las colaboración científica de un centro de investigación del Instituto Politécnico Nacional, analizado a partir de si CV las tesis, libros capítulos y artículos que publicaron juntos. Esta grafica elaborada con el Software Cytoscape.

Figura 8. Intermediación en Red de Medio Ambiente en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI)



Fuente: (Cardenas- Tapia, 2016)

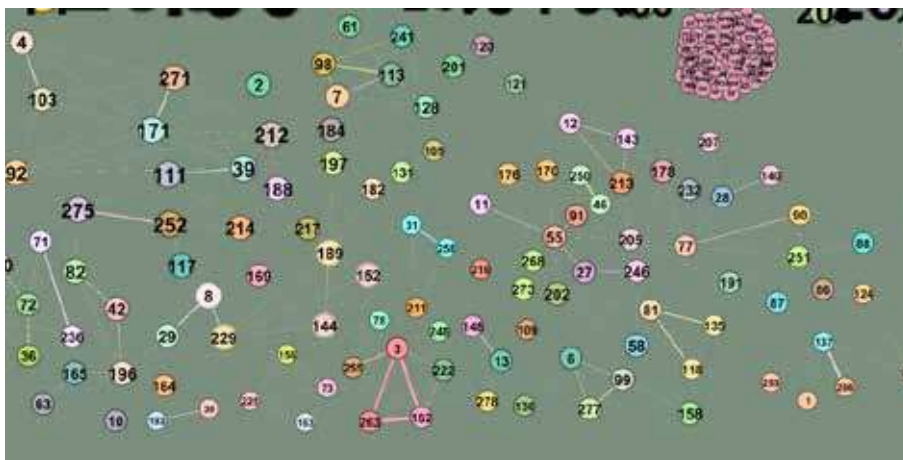
Centralidad de Cercanía

Esta variable mide que tan cerca está nodo con el resto de los nodos. En la investigación realizada por (Cano, 2019), usando el software Gephi en la Figura 18, se observa el grado de cercanía y el número de vecinos que se presentan en la Red del investigadores en Ciencias Económicas del Sistema Nacional de Investigadores.

La mayoría de investigadores (85%) presenta entre dos y cinco vecinos. El nodo 171 es el que presenta el mayor coeficiente (0.1453) y por tanto sería el más “conectado”. Aunque es una especulación de mi parte se esperaría que fuera también el más apreciado por sus compañeros.

La red ilustrada en la Figura 9 incluye el nodo 171, 39 y 111 que son los que presenta el mayor coeficiente y que serían los más conectados, si se quisiera expandir un rumor o un contagio estos serían los más convenientes para que llegara a casi todos los demás.

Figura 9. Centralidad de Cercanía usando Gephi



Fuente: (Cano, 2019)

La centralidad de cercanía también puede apreciarse gráficamente aplicando el criterio de (Newman 2003) que sugiere que los “Triángulos” son los que determinan el agrupamiento de una red al conectarse mediante los enlaces.

En la investigación de Cano se calculó la cercanía de los primeros 20 investigadores que se muestra en el cuadro 3.

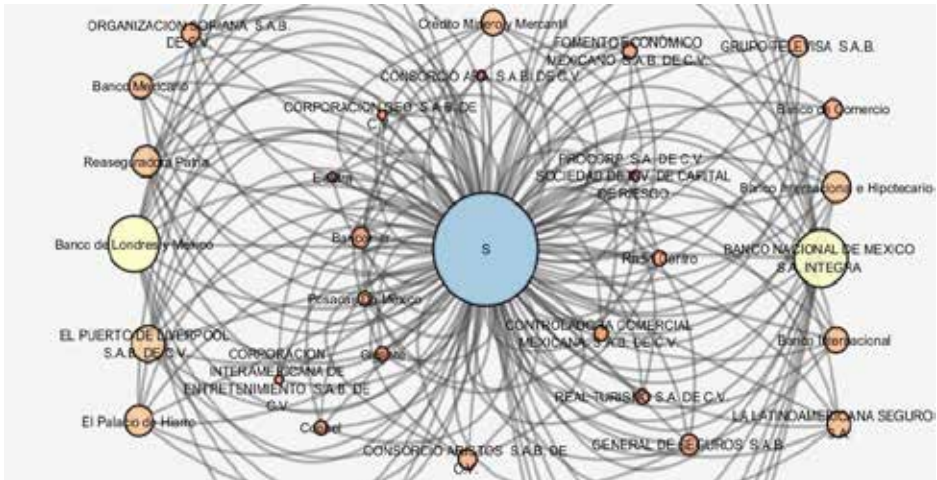
Cuadro 3. Centralidad de Cercanía

No.	id	closeness	No.	id	closeness
1	171	0.275862	21	42	0.206009
2	39	0.274286	22	189	0.200837
3	111	0.271186	23	29	0.195122
4	212	0.271186	24	58	0.19403
5	252	0.269663	25	113	0.192771
6	275	0.26087	26	229	0.192
7	271	0.248705	27	128	0.191235
8	92	0.246154	28	8	0.189723
9	82	0.238806	29	98	0.189723
10	188	0.235294	30	246	0.188953
11	7	0.228571	31	72	0.1875
12	214	0.222222	32	158	0.186246
13	103	0.220183	33	202	0.185185
14	4	0.219178	34	165	0.184615
15	150	0.219178	35	217	0.18251
16	196	0.219178	36	144	0.179775
17	2	0.218182	37	152	0.179775
18	117	0.217195	38	55	0.179558
19	197	0.216216	39	169	0.179104
20	184	0.214286	40	99	0.178082

Fuente: (Cano, 2019)

En la investigación realizada por (Galicia-Anaya, 2018) al estudiar la perdurabilidad de las empresas que han cotizado en la Bolsa Mexicana de Valores, encontró que la empresa con mayor Eigenvector era el Banco Nacional de México que consiguió perdurar por más de 75 años y junto con ellas las empresas de servicios eran las más perdurables según se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Eigenvector de las Empresas que han Cotizado en la Bolsa Mexicana de Valores de 1895 – 2016.



Fuente: (Galicía-Anaya, 2018)

2. Efecto de Mundo Pequeño

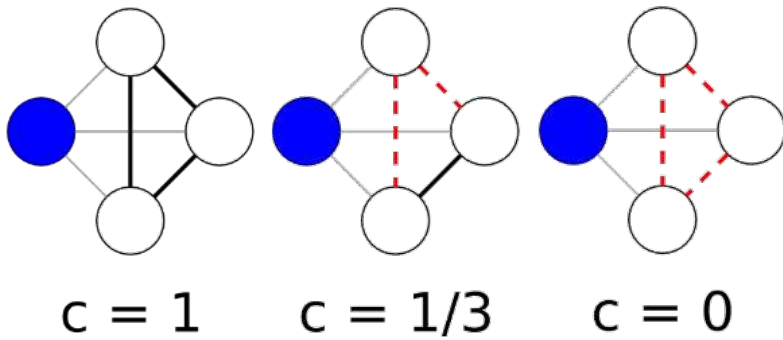
Esta es una propiedad que descubrió Milgram en 1929 y que será explicada con más detalle en páginas posteriores.

Este efecto ha sido comprobado en redes muy distintas: circuitos digitales, red de colaboración científica, llamadas telefónicas, interacciones sexuales en un club de Karate, redes universitarias de amigos entre otras (Newman, 2003).

Esta propiedad postula que todas las redes están a 6 pasos de conectividad. Dicho de otra forma si uno desea encontrar a cualquier persona del mundo con solo 6 interacciones puede llegar a él o ella siguiendo un lógica adecuada (Milgram, 1974).

El coeficiente de agrupamiento, mide qué tanto está de agrupado (o interconectado) un nodo con sus vecinos. Es la probabilidad que dos nodos conectados directamente a un nodo estén conectados entre sí. En el ejemplo de la Figura 11, el coeficiente tiene tres valores. En el primer caso, la línea continua denota que hay relación entre todos los nodos por ello el coeficiente es 1. Es decir, es una red totalmente agrupada. En la segunda red la línea punteada denota que solo dos nodos esta conectados de 6 posibles vínculos lo cual se representa como $1/3$. En la tercera red no hay relación entre ningún nodo por ello el coeficiente es 0.

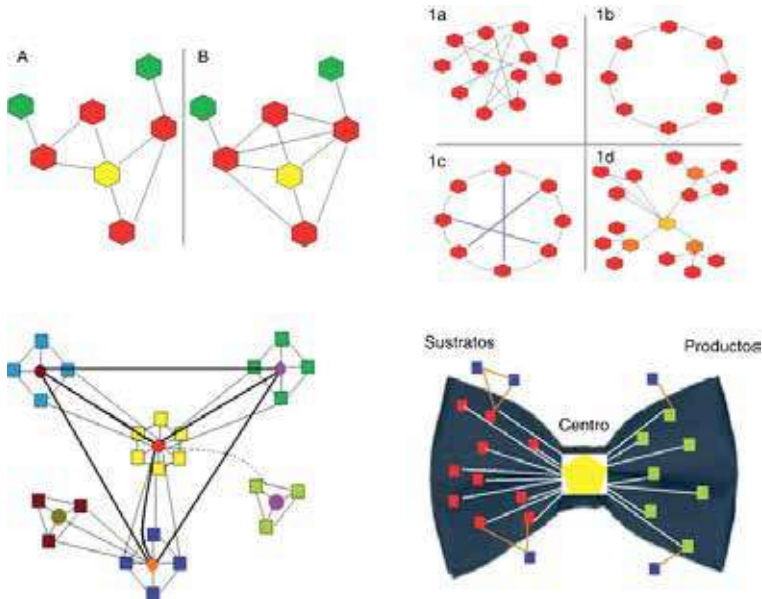
Figura 11. Tres Redes con distintos Coeficientes de Agrupamiento



Fuente: (Tranberg, 2014)

La Figura 12, ilustran distintos ejemplos de grados de agrupamiento que puede asumir una red.

Figura 12. ejemplos de distintos grados de agrupamiento



Fuente: (Cardinal , 2014)

Newman propuso una fórmula para calcular el coeficiente de agrupamiento que es :

$C = \frac{\text{el número de triángulos en la red}}{\text{número de vértices triples conectados.}}$

Este número se explica cómo sigue. En las redes sociales el amigo de tu amigo es probable que sea también tu amigo, esto hace que tres nodos A, B y C formen un “triángulo de amistad”. En el lenguaje de redes estos “triángulos” son los que determinan el agrupamiento de una red al conectarse mediante los enlaces

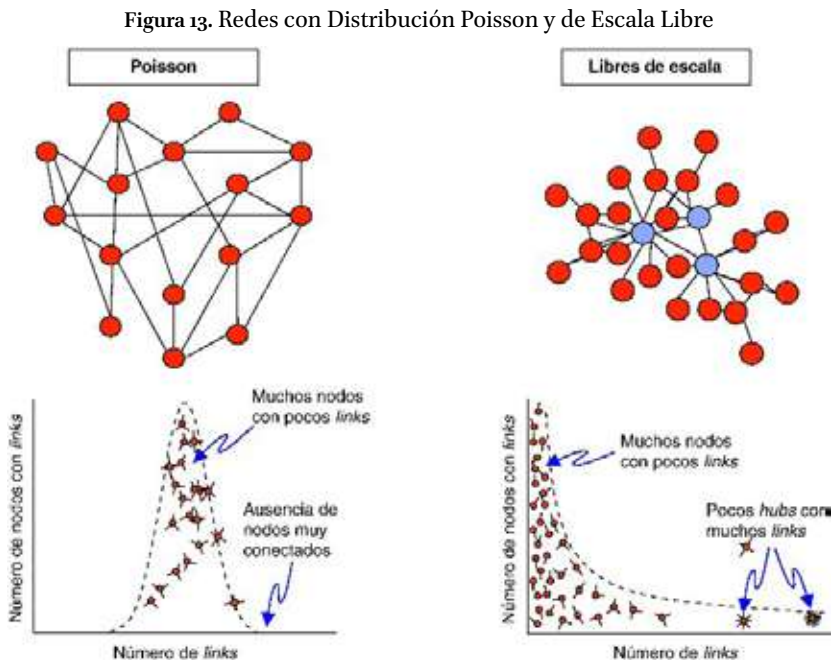
3) Grado de Distribución Nodal

El grado nodal en una red se refiere al número de conexiones que un nodo tiene con otro nodos.

El sentido se denota con una flecha de relación. La forma en que se mide el grado de distribución es mediante una formula: $P(k) = nk / n$.

las conexiones de una red es una propiedad que se calcula como una probabilidad entre 0 y 1.

En la Figura 13 se ilustran las dos distribuciones más populares que son la de Poisson donde hay muchos nodos con pocos vínculos. Y las *libres de escala* donde los nodos no están muy conectados entre sí.



Fuente: (Sobradillo, 2011)

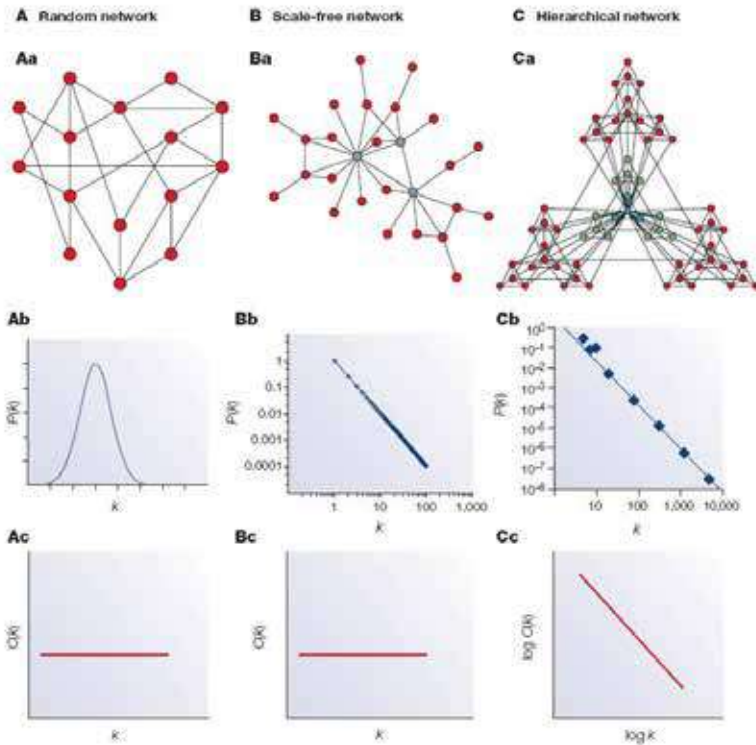
La Distribución de Poisson

A la distribución de Poisson también se le llama de *eventos raros*. Ejemplo el número de terremotos por año. El número de crisis bancarias en una década. El número de asaltos en el transporte público en una ciudad latinoamericana.

La distribución de una red de este tipo no ocurre en la realidad, ya que en una red real los nodos se incorporan y desaparecen, sin embargo, este es el supuesto de la anticuada teoría de grafos. Asombra saber que el modelo sirvió por más de 50 años para conceptualizar las redes (Erdos & Renyi, 1959).

En la Figura 14 se ilustran los tres tipos de distribución de redes más comunes. La primera es la de Poisson. La segunda es la libre de escala y la tercera la red jerárquica.

Figura 14. Comparación de los tres tipos de redes más comunes.



Fuente: (Kyoung, 2014)

Distribuciones Libres de Escala

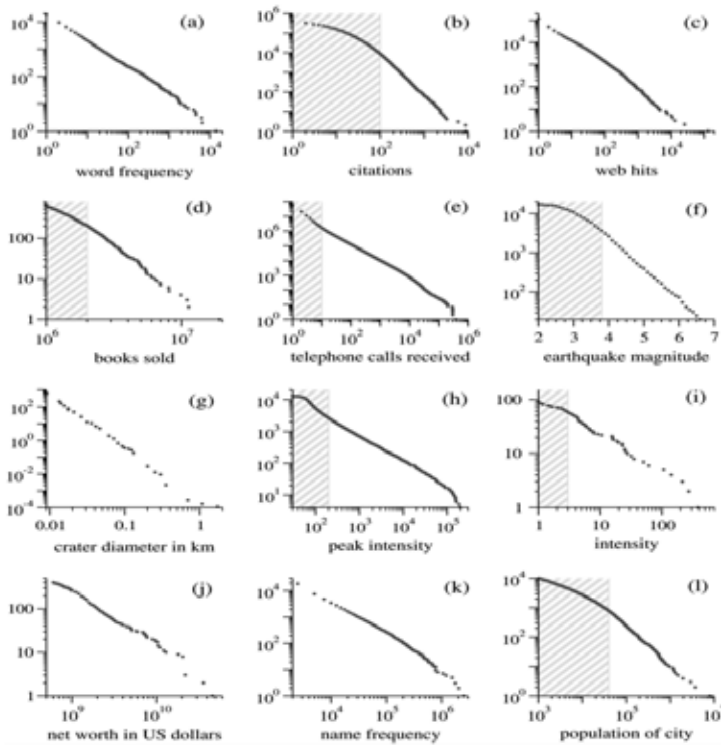
Un revisión del estado del arte a las cada vez más numerosas publicaciones sobre redes nos permitirán darnos cuenta que la mayoría de las redes reales están muy lejos de comportarse como una distribución de Poisson que proponían (Erdos & Renyi, 1959). En la mayoría de las redes, las leyes de potencia describen acertadamente el grado de distribución.

Por *ley de potencia* debemos de entender una distribución donde los eventos alcanzan valores altos con muy poca frecuencia mientras que los bajos y medianos son más frecuentes. La ley de potencia se observa en muchos fenómenos de la vida moderna. Por ejemplo, En México existen muy pocas ciudades que tiene más de un millón de habitantes, la gran mayoría son ciudades medianas y pequeñas que siguen una ley de potencia.

La ley de potencia es el resultado de la auto organización que se observan en fenómenos complejos donde los “agentes” siguen ciertos patrones de comportamiento. Estos “agentes” pueden ser neuronas, ingreso monetario, vistas a páginas web, ciudades o homicidios.

Lo interesante de las leyes de potencia es que son universales. Se observa en la frecuencia de palabras en un idioma. Algunas se usan muy poco u otras muchísimo. Algunas páginas se consultan mucho y otras recién muy pocas visitas, En el ingreso de las personas en México, algunos millonarios Slim, Bailleres, Salinas Pliego tienen ingresos de escándalo, y la mayoría de los mexicanos tiene muy pocos ingresos, algunos artículos científicos reciben muchas citas y la mayoría una o menos. Algunos ejemplos se muestran en la Figura 15.

Figura 15 Ejemplo de leyes de potencia en diferentes sistemas complejos



Fuente: (Python, 2015)

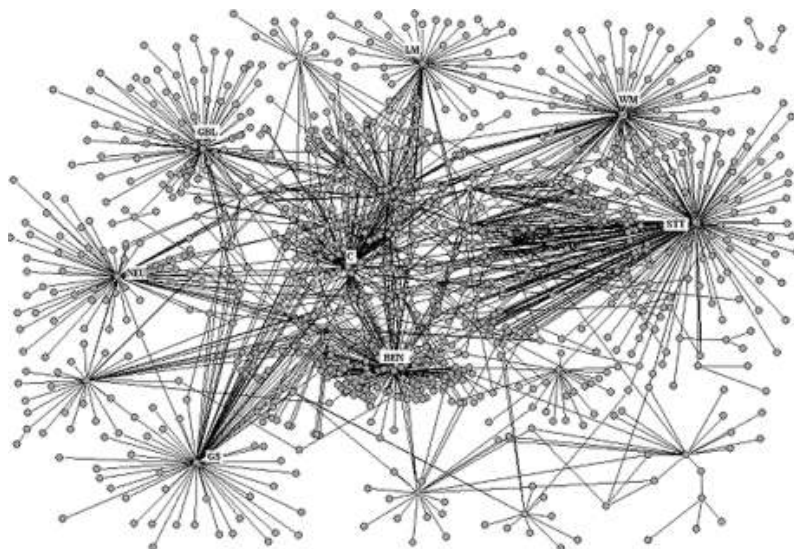
Redes de Libre Escala

Como ya se ha comentado las redes complejas de gran tamaño son libres de escala y sus distribuciones de grado siguen una *ley de potencias*.

El primer científico en percatarse que las redes no se comportaban de manera aleatoria sino como una “escala Libre” fue Derek de Solla Price en 1965 cuando analizó las citas que recibían los trabajos científicos. En un trabajo posterior en 1976, propuso un mecanismo para explicar la aparición de leyes de potencia en redes de citación, que bautizó como “la ventaja acumulada”, este concepto después sería enriquecido por (Barabasi & Albert, 1999) al que llamaron “*conexión preferencial*” que se usa en la actualidad. Esta propiedad fue matemáticamente probado de manera rigurosa por (Bollobas, Riordan, Spencer, & Tusn, 2001).

El modelo de Barabasi & Albert se volvió muy popular y desplazó para siempre a modelo de redes de (Erdos & Renyi, 1959) por dos razones fundamentales: 1) Las redes reales tales como internet son abiertas porque añaden continuamente nuevos nodos a la red a diferencia de los modelos probabilísticos que son estáticos. Las redes aleatorias tipo Poisson, así como el modelo de mundo pequeño suponen erróneamente, probabilidades uniformes para crear nuevos enlaces lo cual no pasa en la realidad, además las redes reales tienen *conexión preferencial*. Los buscadores más usados como Google un artículo muy leído tienen más probabilidades de tener nuevos enlaces. La gráfica 16 ilustra la diferencia entre las escalas probabilísticas y sus distribuciones,

Figura 16. Redes de Libre Escala



Fuente: (Baldu, 2011)

4) Resiliencia en Redes

La Resiliencia es una propiedad relevante de las redes complejas la cual permite evaluar que tanto afecta a una red a pérdida de un nodo relevante. Vamos a ilustrarla por medio del siguiente caso:

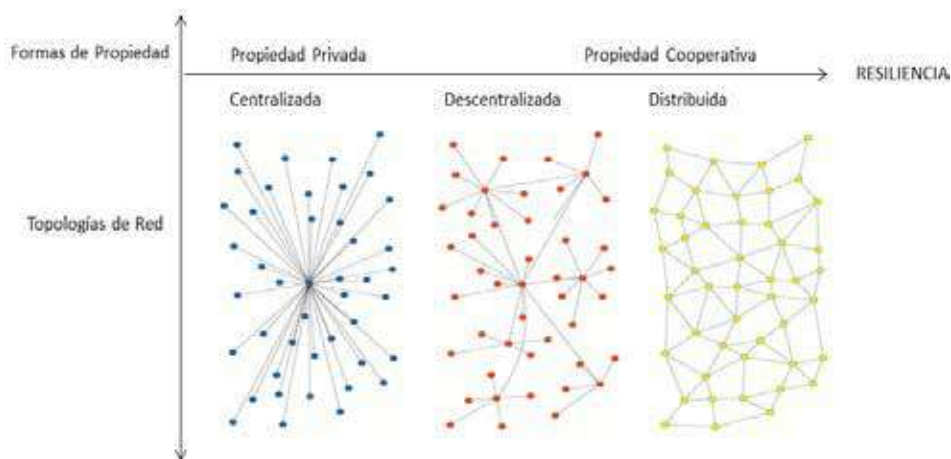
En una red de científicos que me invitaron a participar en el año 2000 había un gran número de investigadores de diversas universidades americanas y mexi-

canas que se sentían atraídos por el liderazgo de un premio nobel Mario Molina y su esposa Luisa Molina, una científica de altísimo nivel intelectual. Esta red creó una red científica binacional México- Estados Unidos y se realizaba un *work shop* sobre los hallazgos que los investigadores hacían en el año sobre *la Gestion de la calidad del aire en las Megalipolis*. Lamentable el premio nobel y su esposa se divorciaron y aunque individualmente siguieron investigando, la red desapareció ya que su esposa era *un Eigenvector estratégico*. Esta red por tanto tenía una baja resiliencia.

La robustez de una red es también un aspecto relacionado directamente a su resiliencia. Una red es robusta y por lo tanto *tolerante a borrados*, si cuando uno de sus nodos se elimina la red continua unida y operando. Por lo general, las redes de distribución tipo Poisson no son robustas. Por el contrario las redes libres de escala tienen alta robustez y son resistentes, *frente a eliminaciones aleatorias*.

Sin embargo, la mayoría de las redes libres de escala muestra una gran debilidad a las *eliminaciones dirigidas*, es decir, eliminaciones no aleatorias. Aunque la proporción de nodos específicos eliminados sea pequeña si se trata de nodo con altos eigenvector o con alta cercanía nodal lo que se conoce en inglés como *close-ness*, la red puede quedar dispersa. La Figura 24, ilustra un ejemplo de tres tipos de redes con distintos grados de resiliencia. De ellas se podría concluir que a mayor grado de concentración de una red es menor su grado de resiliencia.

Figura 17. Tres ejemplos de resiliencia de redes



Fuente: (Sistema en Crisis, 2015)

La Figura 17 ilustra distintas redes que reflejan tres distintos sistemas financieros.

Como se observa las redes centralizadas, donde alguno de los nodos tiene alto grado nodal o de intermediación son paradójicamente más débiles, para enfrentar un ataque dirigido a uno de sus centros. En la crisis de las hipotecas de 2008, la bancarrota de *Lehman Brothers* tuvo un efecto de cascada y catastrófico en la economía global. Era un centro del sistema (un top 40) al nivel de los Morgan Stanley & Cia. Además tenía una alta concentración lo cual creo una crisis bancaria en cascada no tanto por la concentración sino porque el sistema favorecía la concentración financiera. Las redes centralizadas suelen ser más débiles, por ello que cuando un dictador muere, el sistema cambia ya que no existen contrapesos y la red simplemente se derrumba. Es lo que paso en España a la muerte del Dictador Francisco Franco. Es difícil creer que un país tan importante haya estado dirigido por este tirano durante 40 años. Sin embargo, cuando murió en un periodo muy corto de tiempo el país se transformó y se convirtió en uno de los más vibrantes y desarrollados del mundo.

5) Selectividad de Redes

Aunque en inglés se escribe (*Mixing Patterns*) que podía traducirse como *mezcla de patrones* este nombre no es representativo de lo que significa la propiedad por ello la que hemos llamado *Selectividad de Redes*. Esta es una propiedad observada en las redes donde los nodos tienden a juntarse con los que son como ellos. Esta propiedad fue descrita por (Newman, 2003) quien evaluó características tales como: el idioma o la raza en las redes sociales o la edad se demostró que la selección de patrones es un fenómeno generalizado que se encuentra en muchas redes. Según Newman esta selectividad, que podría también describirse como una discriminación positiva, favorece la red tenga una alta resiliencia a la eliminación de vértices. Esto genera una variable llamada cociente de selectividad que se observa en las redes. ...”En una investigación realizada entre parejas en la ciudad de San Francisco California se observó lo siguiente...” (Newman, 2003) ver cuadro 4.

Cuadro 4. Selectividad de Parejas en San Francisco Cal.

	Mujeres			
	Negras	Hispanas	Blancas	Otras
Hombres				
Afrodescendientes	650	33	70	30

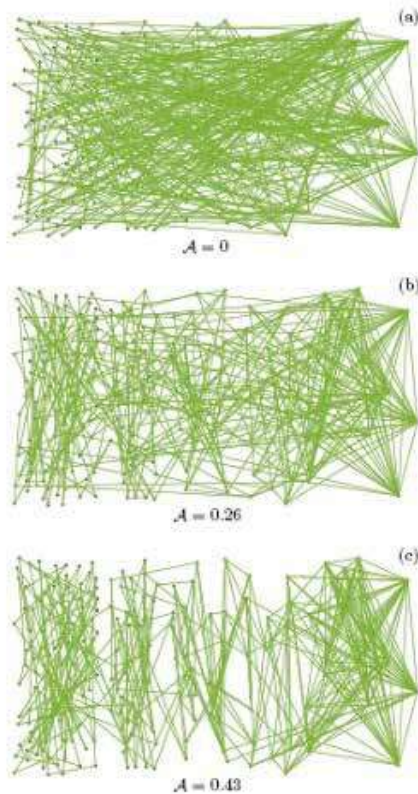
hispanoparlantes	30	309	120	40
Anglos	28	45	600	70
Otros	11	13	50	30

Fuente: (Newman M. E., 2003)

En la Figura 18, se constata la preferencia que tiene en primer lugar los hombres blancos de casarse con Blancas seguido por los afroamericanos de casarse con mujeres afrodescendientes y al final los hispanos de casarse con hispanas. Otros estudios que evalúan aspectos como la edad también ratifican estas características de las redes que suele llamarse también como *hemofilia o asertividad (assortativity)*.

En la Figura 18 se ilustra tres grados de selectividad.

Figura 18. Tres Grados de Selectividad



Fuente: (Piraveenan, Prokopenko, & Zomaya, 2008)

..” Este indicador definido por la letra Alfa señala que entre mayor es el número la red tiende a ser más selectiva es decir solo se relacionan entre los miembros de la red. Cuando el valor es cero no hay selectividad. Todos los nodos se relacionan entre sí. Podríamos decir que es el cosmopolitismo absoluto si hacen una metáfora de la raza y la cultura”. ... (Piraveenan, Prokopenko, & Zomaya, 2008)

6) Grado de Correlación de Redes

Esta propiedad de las redes se observa cuando un nodo tiene una alta convergencia de enlaces y está asociado a otro nodo con estas mismas características.

La mayoría de las redes sociales por lo general son más selectivas que las redes biológicas cuya selección está condicionada por el medio ambiente.

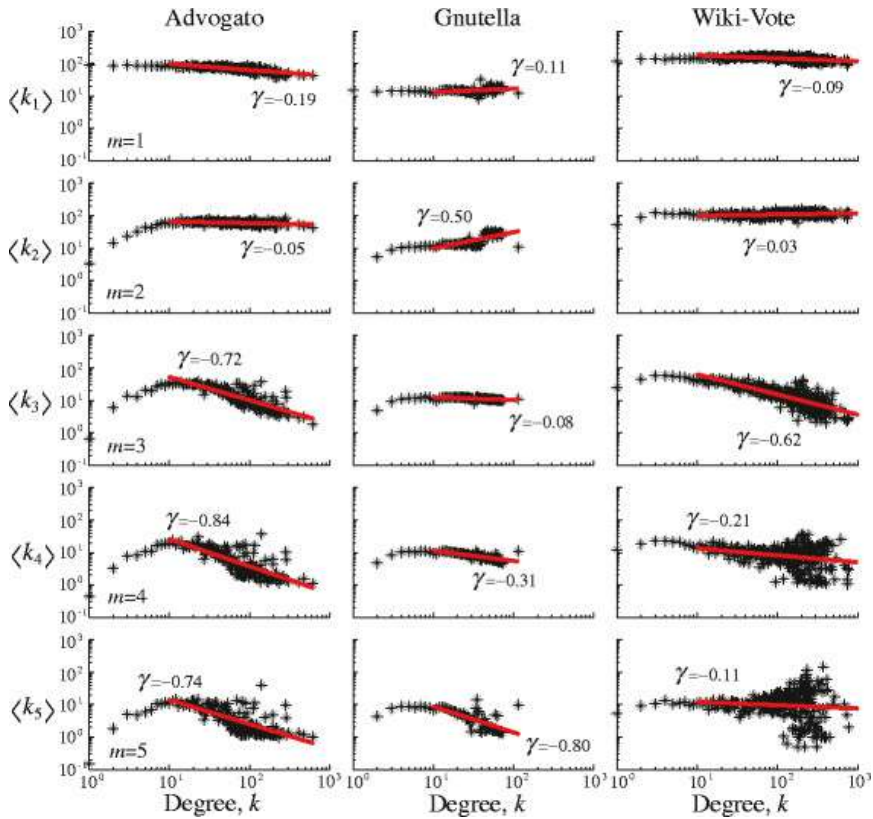
Otras investigaciones como la de (Mayo, Abdelzaher, & Ghosh, 2015) prueban que *...“las redes sociales están correlacionadas entre vecinos más cercanos, por el efecto llamado hemofilia que hemos mencionado antes. Así las personas se conectan a los vecinos más cercanos. Por amistad o interés...”*

Las redes de encuentros con fines de relación amorosa que son sumamente populares tales como Match, Tinder, amor en línea entre otras presentan un alto grado de correlación. Aunque nadie confiesa en público usarlas son muy seguras y altamente recomendables para no estar solo.

Mayo, Abdelzaher, & Ghosh, (2015) estudiaron las correlaciones de grado en tres redes sociales y tres redes no dirigidas. *...“Usando correlaciones de Pearson calcularon los grados medios de cada vecino para nodos separados por hasta 5 enlaces secuenciales. Encontrando qué las redes sociales exhibieron una correlación débil a nivel del primer vecino, y cuando la distancia aumentó se hicieron negativas ...”*

La Figura 19, ilustra cómo el grado medio vecino m -cadena, $\langle km \rangle$, varía con el grado ego, k , para las tres redes sociales.

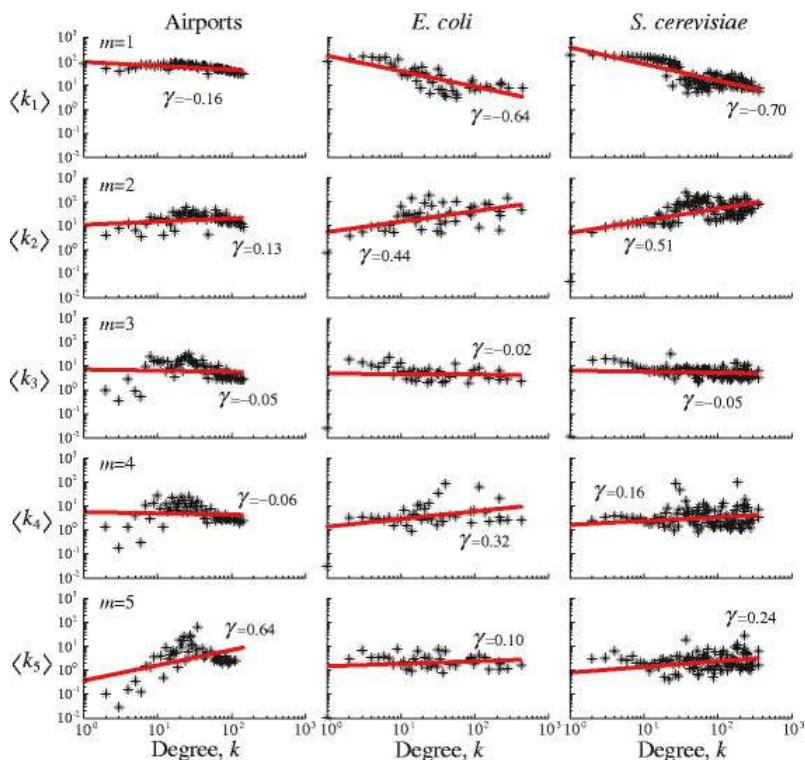
Figura 19. Correlaciones en redes sociales



Fuente: (Mayo, Abdelzaher, & Ghosh, 2015)

En contraste, las redes no sociales no están correlacionadas con los primeros-vecinos, pero exhibieron correlación a distancias de separación más largas. Además, los grados medios de los vecinos separados se acercaron a la conectividad de red promedio después de aproximadamente 3-4 pasos. Ver Figura 20.

Figura 20. Grado de correlación en redes no sociales



Fuente: (Mayo, Abdelzaher, & Ghosh, 2015)

7) Estructura de la Comunidad

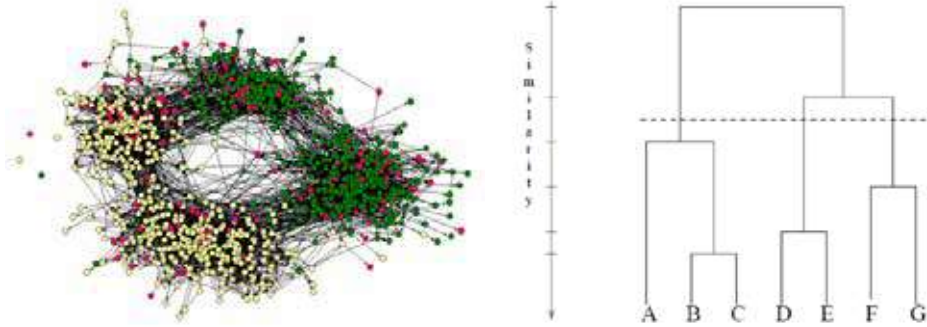
Una red social tiene *estructura de comunidad* ya que los nodos tienen vínculos que comparten ciertos intereses, ocupaciones o por la edad, o gustos musicales, desarrollando lo que se conoce como selectividad (*Assortativity*), ya explicada antes. Cuando esto no ocurre se da un fenómeno que se llama estructura de la comunidad.

Una forma de hacer visibles a las comunidades de una red es realizando un análisis de conglomerados (*cluster analysis*). El proceso lo ilustra un dendograma, conocida en español como cúmulos ó conglomerados. En la Figura 21 se ilustran las comunidades de estudiantes en la primaria y la secundaria que Newman ilustra en multicitado artículo. ...” Los estudiantes blancos están coloreados con blanco y los amarillo con rojo. Los de preparatoria están en la parte superior de la Figura y los de

primaria en la inferior. Se aprecia claramente que en la primaria los niños blancos tienen la tendencia a juntarse más con niños negros...” (Newman M. E., 2003).

Newman usó un algoritmo de incrustación de muelles (*spring embedding*) y descubrió las comunidades aparecen claramente dibujadas que parecen en la figura 21.

Figura 21. Estructura de las Amistades de los niños en Estados Unidos y ejemplo de un dendograma.



Fuente: Elaboración propia a partir de <http://www.math.cmu.edu/~ctsourak/amazing.html> para el diagrama que ilustra la investigación de Moody sobre la red de amistades de los niños en Estados Unidos y de Jain, Murty, Flynn (1999)

...“Es muy importante no confundir la red de conglomerados con la técnica estadística de análisis de conglomerados ya que, aunque ambas generan cúmulos, los algoritmos que los generan son distintos.

En las redes sociales las redes de cúmulos también son llamadas modelos de bloque (*Block models*) las cuales son esencialmente divisiones de redes en una comunidad o bloques de comunidad..” . (Newman V. , 2014)

8) Navegación en la Red

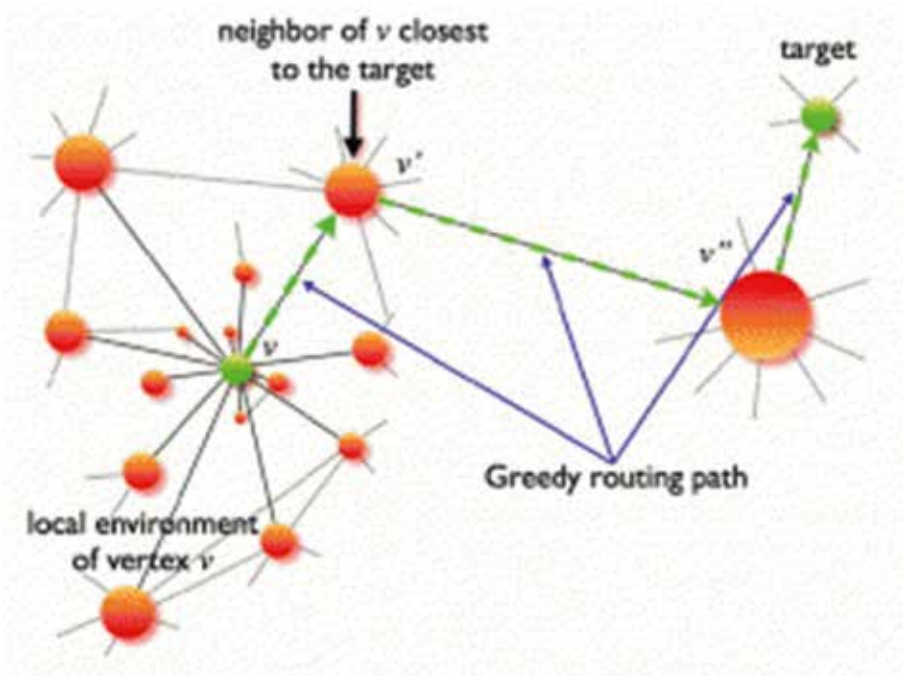
El experimento realizado por Milgram sobre el mundo pequeño ya citado con antelación, donde se pedía a personas normales enviar una carta a un individuo desconocido mostró que existen caminos cortos entre individuos aparentemente alejados y que la gente común es capaz de hallarlos.

Si bien este experimento ha sido criticado con dureza por investigadores como (Kleimberg, 2000) que afirman que navegar por la Internet es más fácil cuando se

conoce la estructura global de la red. Cuando no se conoce los vínculos entre los nodos, es difícil determinar el trayecto entre nodos. Una técnica de navegación llamada *enrutamiento codicioso* (*greedy routing*) ha solucionado este problema y puede encontrar los caminos más cortos entre los nodos utilizando solamente información local, sin el conocimiento de la topología global de la red.

Esta técnica se ilustra en el trabajo de (Zyga, 2009). Ver Figura 22.

Figura 22. Enrutamiento Codicioso

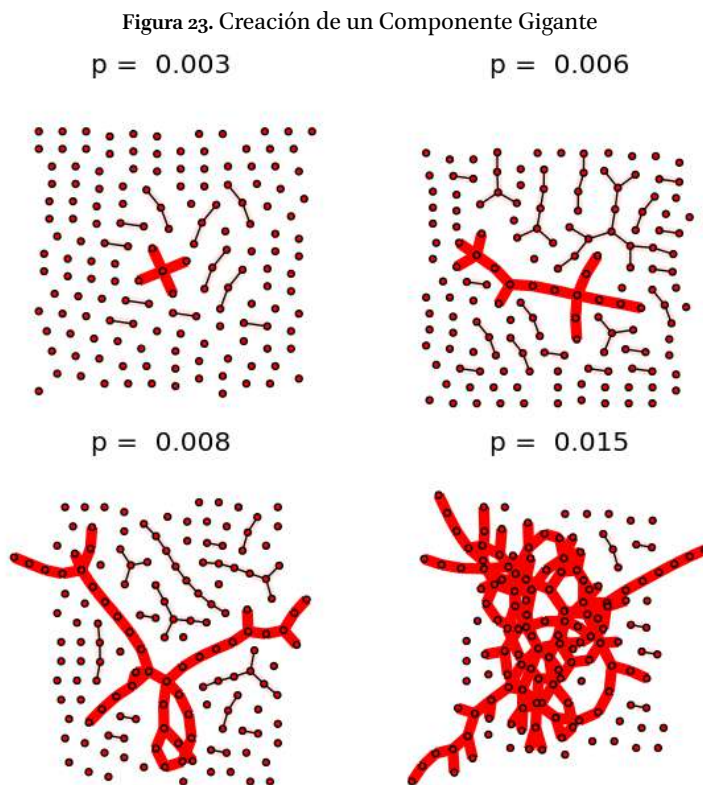


Fuente: (Zyga, 2009)

Componente Gigante (Giant Component)

En la teoría de redes, un componente gigante es el que se conecta a una red aleatoria dado que contiene una fracción constante de vértices de todo el gráfico. Los componentes gigantes es un supuesto relevante del modelo Erdős-Rényi . Y se refiere a un componente claramente dominante y superlativo que distorsiona la asociatividad de los nodos de una red. (NetworkX, 2014)

El ejemplo de la Figura 23, ilustra la repentina aparición de un componente gigante en una red aleatoria de tipo binomial.



Fuente: (NetworkX, 2014)

El dibujo de esta red requiere el uso del software llamado pygraphviz y matplotlib draw.

La gráfica ilustra cómo se van creando los componentes en punto dado en el tiempo apareciendo poco a poco el componente de “gigante” descrito en de color rojo.

VARIABLES DE LA DINÁMICA DE REDES

La Figura 22, ha sido insertada el mejor ánimo de presumir nuestra “cerca-
nía” con el creador de los principales conceptos teóricos que ha revolucionado la

teoría de redes. (En realidad lo atrapamos en los pasillos del primer congreso de la Sociedad de Sistemas Complejos, celebrada en México). Se trata de científico húngaro Lazslo Barabási que gentilmente ha aceptado retratarse con el equipo de investigadores del Laboratorio de Evolución Organizacional creado por el autor.

Figura 24 Lazslo Barabasi con el equipo de investigación LART en el congreso de la Complex System Society en Cancun 2017



Fuente. Luis Arturo Rivas Tovar

Es un excepcional científico rumano nacido como su compatriota Drácula en Transilvania (Rumanía) pero a diferencia de aquel conocido por su ferocidad, Barabási ha realizado uno de los modelos más importantes para comprender la dinámica en las redes. En la actualidad lidera un grupo de investigadores en la Universidad de Notre-Dame en Indiana.

Aunque como lo menciona en su libro le costó mucho publicar su primer trabajo, cuando lo consiguió entró por la puerta grande al publicar la primera “Foto” de internet que se publicó nada menos que en la revista Nature que se ilustra en la Figura 25, lo cual virilizó el conocimiento de los sistemas complejos entre la comunidad científica según se ilustra en la portada anexa.

Figura 25. Portada de Nature con la Primera Visión de Internet



Fuente (Nature, 2011)

Barabási es el creador del concepto de *redes libres de escala*, así como uno de los divulgadores más generosos de la teoría de redes¹². Además del concepto referido creo aportó el modelo que mide el la manera en que las redes se expanden y forman enlaces preferentes que se explicaran más adelante.

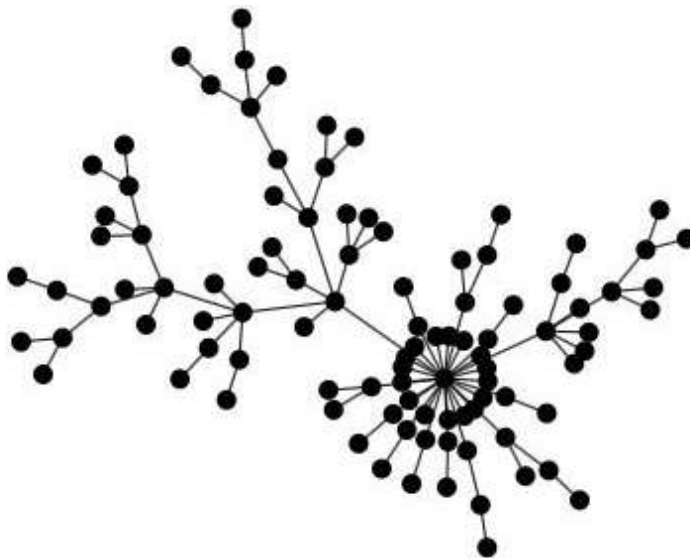
12. Es el único autor que conozco que tiene un libro de acceso abierto que es una maravilla para los que se quieran introducir en el tema. En la trata del poder de la ciencia de la red, la belleza de la visualización de la red. Es posible seguir su desarrollo en Facebook, Twitter o por lista de correo, le pueden avisar gratuitamente de nuevos capítulos y desarrollos.

En el libro hay simulaciones y análisis de datos. Se planea que la página web se ampliará con una versión interactiva de los de texto, bases de datos, y las diapositivas para enseñar el material. Ver <http://barabasi.com/networksciencebook/>

En este icónico artículo describió que la red (WWW) que toda la gente piensa que está “abierta y libre”, tiene tres propiedades matemáticas que nadie antes había visto:...” a) *la red como el universo se expande constantemente y con ello su emergencia es por ello que tiene un comportamiento complejo que determina su evolución y adaptación, b) la segunda es la conexión preferencial (preferential attachment). Que describen la preferencia de los nodos para conectarse entre sí creando un (Hub) como Google que son los sitios que tiene más conexiones y c) es la llamada tasa de atracción que define la competitividad de los nodos en la web ya que a pesar de lo que es se cree los nodos no está bi-direccionadas.* “ .. (Babarasi & Reka, 1999).

Ver Figura 26. De hecho, si comenzamos una búsqueda desde una página x solo es posible alcanzar un 24% de todos los documentos; lo demás es *invisible para nosotros*, y no es posible encontrarlo salvo con buscadores especializados.

Figura 26. Conexión Preferencial de Rred



Fuente: (Babarasi & Reka, Emergence of scaling in random networks, 1999)

..*Mediante una URL, se puede ir en una sola dirección, no es posible hacer no direccionado pues del nodo C no hay vuelta al nodo A. En una red direccionada no existe la certeza de un camino de regreso de tienen que ir a todos los nodos intermedios para regresar al nodo A. En toda la web se observan estas desarticulaciones.*” (Babarasi, 2002). Según descubrió Barabási la mayoría de la web son “no-direccionaladas” por ello es un mito que la web está abierta.

Modelo Barabási- Albert

Este modelo es..“*un algoritmo que genera redes aleatorias complejas libres de escala empleando una regla llamada conexión preferencial (Preferential Attachment) se suele denominar modelo BA. Las redes generadas por este algoritmo se llaman redes libres de escalas. Las redes de este tipo son Internet, y algunas redes sociales...*” (Babarasi & Reka, 1999).

En este modelo , los nuevos nodos se vinculan preferiblemente con los nodos más conectados. Este fenómeno se observa hoy en día en los “influencers” los cual se vuelven cada vez más populares en la medida que su fama crece en la red y por tanto cada día tengan más seguidores, aunque sean puras tonterías lo que generan.

Si bien el concepto de *conexión preferencial* fue creado por Yule desde el año 1925, este fue prácticamente olvidado por el poco uso que se daba al análisis de redes. En 1999 Barabási redescubrió el concepto y junto con sus estudiantes aportó una validez matemática y empírica a través de los simuladores de los cuales careció Yule, aplicándolo al ya famoso caso de la red de internet vinculando los links de cada sitio de Internet (Babarasi & Reka, 1999).

Si bien el modelo BA, ha sido criticado por seguir *el efecto mateo* -al que tiene más le será dado más y al que menos tiene hasta eso se le quitará-. Sin embargo este efecto se observa en todas las redes ya entre más conexiones tiene un nodo más popular se vuelve y los otros nodos lo “prefieren” más. Esta tendencia observada de la evolución de redes se llama “fitness”, y se refiere a la capacidad de conexión preferencial se ajuste con el tiempo.

Aunque el modelo BA es uno de los descubrimientos más estimulantes en la teoría de redes la gran aportación de Barabási está en mi opinión en el lado de la dinámica de redes.

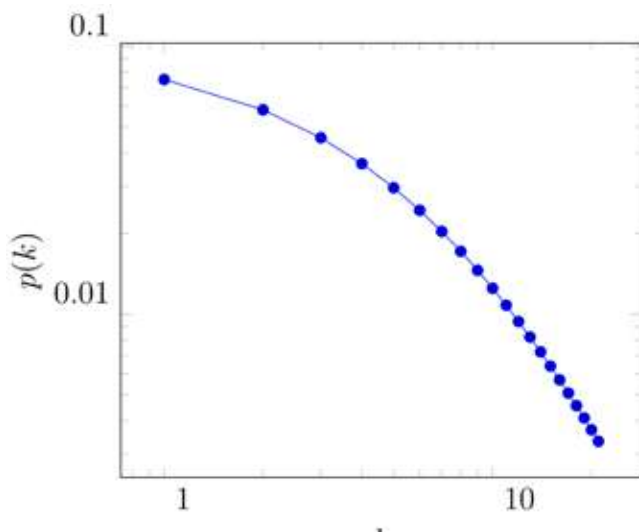
Es un bello y didáctico libro en el capítulo 6 llamado *Envolving Netwoks* que puede traducirse como evolución de redes Se describe que son cinco las características de la dinámica de redes y son: Atracción Inicial (*Initial Attractiveness*), Vinculación Interna entre Redes (*Internal Links*), Desaparición de Nodos (*Node deletion*), Crecimiento Acelerado (*Accelerate Grows*), y Envejecimiento de Redes (*Aging Netwoks*).

1) Atracción Inicial (Initial Attractiveness)

Una de las críticas más fundamentadas al modelo de Barabási-Albert de redes libres de escala es que asume que el grado de distribución de las red puede ser descrita por una ley de potencia pura. Sin embargo, el grado de distribución en las redes de la vida real no puede ser descrito por una ley de potencia únicamente. Las discrepancias más comunes en redes reales son de tipo estructural y un concepto que, aunque en español en poco claro se llama grado de corte pequeño. Es por ello que en el modelo Barabási y se asume un pequeño grado de saturación inicial y por tanto un aumento de exponente del grado de distribución.

Esta propiedad se muestra en la Figura 2.

Figura 27. Comportamiento de la atracción inicial en la dinámica de una red



Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Initial_attractiveness

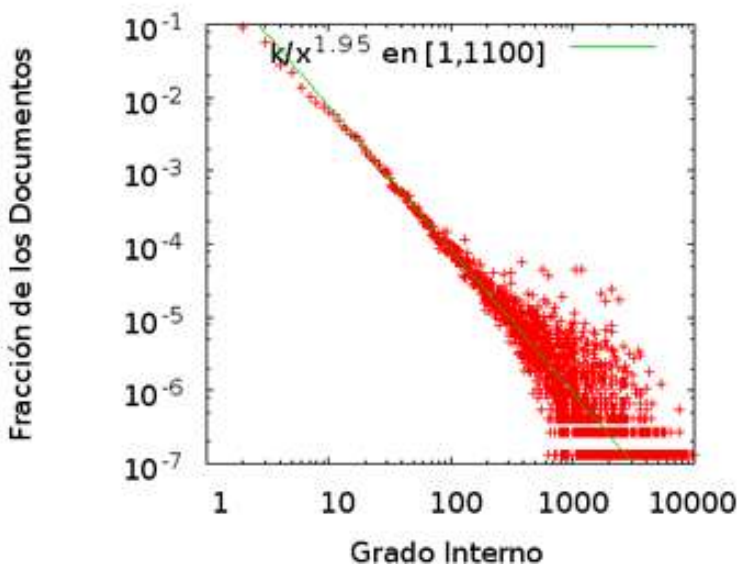
Esta propiedad también fue descrita por (Barabasi & Albert, 1999) describe que hay ...” *un atractivo inicial aumenta la probabilidad de que el nodo tenga un nodo de ingreso. Este aumento de la probabilidad inicial de atracción se vuelve marginal en la medida que un nodo de tipo Hub o principal obtiene más conexiones. Dentro del tipo de redes que suelen ejemplificar esta propiedad dinámica de las redes cabe mencionar a la red de colaboración científica, la red Co-estrellato, red de citación científica..*” (Ying, 2011)

2) Vinculación Interna en redes (Internal links)

Este tipo de enlaces son los que permiten a un red ejercer el dominio cuando se navega en una red y resultado de utilidad ya que permiten a los usuarios navegar en la web. Establecen jerarquía en la información de la página web determinada, y contribuyen a la potenciar la posición de un sitio se llaman popularmente Cookis.

Sus vínculos internos de una red se ilustran en la Figura 28 y se pueden describir como una ley de potencia.

Figura 28. Ley de potencia en la web chilena



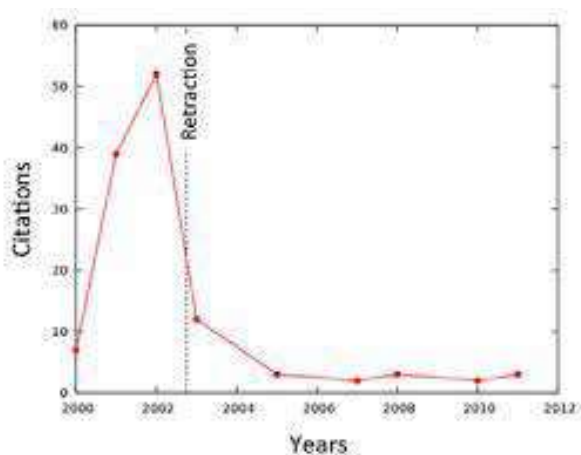
Fuente: (Baeza-Yates, Castillo, & Graells, 2006)

3) Desaparición de Nodos (Node Deletion)

En la vida real muchos nodos y sus vínculos no pueden desaparecer. Las relaciones continúan. Cuando un capo de una red de narco - secuestradores es capturado, pero no por ello la red desaparece. Más bien ocurren procesos de fragmentación o reagrupación en la red. A una persona que meten a la cárcel aun haya cometido un horrible delito sus familiares lo siguen viendo y atendiendo. En su libro (Babarasi, 2015) pone un ejemplo muy ilustrativo ocurrido en un triste caso de plagio en la ciencia. ...” *Un prominente científico con una increíble productividad*

llamado Hendrick Schon publicaba artículos en revistas como *Science* y *Nature* casi cada 8 días hasta que se descubrió que falseaba los datos. Aunque sus artículos fueron retirados y el plagio denunciado por las revistas, las citas a los trabajos de Schon se han continuado citando con ello se demuestra que un nodo no puede ser “borrado” totalmente, aunque se decida hacerlo en algunos casos. Ver figura 29. Así mismo, existe nodos que sencillamente desaparecen y sus vínculos pueden ser borrados. Ambas situaciones son posibles.”

Figura 2. Imposibilidad de la Supresión de Nodo en el Caso de los Trabajos Fraudulentos de Shon.



Fuente: (Babarasi L. A., 2015)

El interés práctico de esta propiedad dinámica de las redes son las consecuencias que la eliminación de un nodo de una red, elegido aleatoriamente o directamente. La supresión de nodo se suele usar para probar la robustez o bien la tolerancia de ataque de las redes. Esto se aplica en muchos campos desde la Web a través de la eliminación de un “router”, la eliminación de epidemias o de lucha contra las organizaciones criminales.

Según (Jahanpour & Chen, 2012)...”*Cuando se quiere destruir una red es mejor apuntar a ciertos nodos en lugar de eliminarlos de forma aleatoria. Si por ejemplo se está combate a un virus, o se desea eliminar una red criminal. La supresión de un nodo puede seguir diversas estrategias más eficaces al identificar a los nodos más alto grado de centralidad o de intermediación. La efectividad de estrategias se mide por la forma en que el diámetro de cambios en la red, o cómo se dan los cambios de tamaño en la red al retiro de ciertos nodos en un periodo de tiempo ..*”

Existen dos estrategias de borrado. Si la red es de tipo aleatoria (Erdős-Rényi). La eliminación de nodos se hace identificando más conectado (el nodo con el mayor valor eigen vector) y entonces su diámetro se contrae simétricamente. Como esta red es bastante homogénea, el grado de los nodos están cerca uno del otro. Si la red es de escala libre como la del modelo BA, el diámetro *aumenta drásticamente* cuando se eliminan los nodos más conectados en comparación con el caso la eliminación al azar. Según (Jahanpour & Chen, 2012)..”*El diámetro se duplica cuando se eliminan 5% de los nodos. Esto es debido a la eliminación de los cubos cambia seriamente la topología de la red, se eliminan la mayoría de los enlaces, por lo que el diámetro sube. ..*”

Este comportamiento de la supresión de redes es muy aleccionador en el caso de México porque esto es lo que ha ocurrido con la estrategia seguida por el presidente Calderón y luego imitada por el presidente Peña en afán de capturar como objetivo principal a los capos de los grandes grupos criminales.

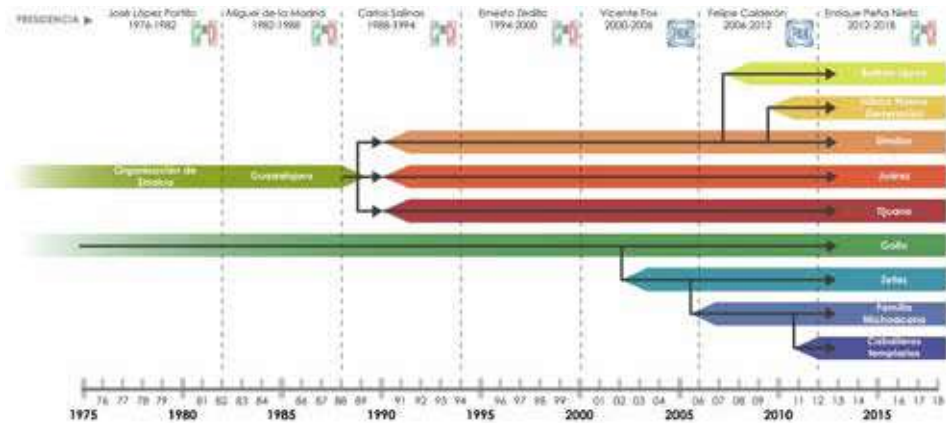
En el año 2000 antes de la primera captura del Chapo Guzmán en México había tres grandes carteles de la droga. El cartel de Juárez y el del Golfo y el Cartel de Sinaloa. En 2006 había 8 carteles de carácter estatal. Seis años después aparecieron los Zetas y cuando sus líderes fueron matados o apresados este cartel se fragmento en al menos 45 células semi independientes. El Cartel de Sinaloa se sub dividió en 8 células. El cartel de los Beltrán Leyva en 7 mini carteles. En Tamaulipas se crearon 18 bandas con altos ajustes de cuentas intricárteles (Michel, 2015).

En el mapa aparece el *Cártel de Jalisco Nueva Generación* que surgió a partir de un grupo de sicarios conocidos primero como Los Mata Zetas, su líder llamado Nemesio Oseguera Cervantes “El Mencho”, irrumpió en el mapa nacional criminal tras la muerte en 2010 en Guadalajara de Ignacio “Nacho” Coronel, operador del Cártel de Sinaloa y se hizo célebre por haberse atrevido a derribar un helicóptero del ejército a mediados de 2014. Desde entonces, el CJNG ha crecido vertiginosamente.

Para el año de 2018 los carteles nacionales habían crecido a 9 grupos sin embargo en el gobierno del presidente Calderón se enfrentó a los Zetas, a los Caballeros Templarios y a la Familia Michoacana, propiciando una atomización mayor.

La figura 3, ilustra el mapa la evolución de los carteles de la droga en México.

Figura 30. Evolución de los Carteles de la Droga 1975-2018



Fuente: (Dominguez J. , 2018)

Según (Ferrer, 2015) En el Norte del país hubo una guerra entre el cártel del Golfo y Los Zetas, teniendo como escenario Tamaulipas y Nuevo León. Otro conflicto entre carteles los protagonizaron diversas células que se escindieron del cartel de los Beltrán Leyva, principalmente en Guerrero y Morelos.

Para 2016 se había identificado 42 mini carteles que se ilustra en la Figura 31 y prueba con una evidencia empírica demoledora que desaparición de nodos en las redes criminales mexicanas sólo conducen a su expansión.

Figura 31. Los 42 carteles de la droga en México 2018



Fuente: <http://www.elfinanciero.com.mx/pages/carteles-por-entidad-federativa.html>

Este horrible ejemplo demuestra que en una red aleatoria la supresión de un nodo relevante propicia el crecimiento de la red. Esto demuestra que la solución a la lucha contra la delincuencia organizada basada en la aprehensión de líderes es un fracaso y la inteligencia y el análisis de las causas en cada región debe analizarse usando técnicas de análisis de redes complejas para comprender no solo la estructura sino la dinámica de las redes criminales, que ha ido mutando adquiriendo nuevos negocios criminales como son la extorsión a inmigrantes y su ingreso ilegal a Estados Unidos, el tráfico de drogas sintéticas, el robo de combustible, y la extorsión de todo el comercio micro y macro, su financiamiento del campaña políticas y el uso del dinero público lo cual ha hecho a los carteles increíblemente fuertes económica y militarmente. El Gobierno de México en lugar de fortalecer las instituciones de seguridad pública y crear policías competentes, de buena formación y bien pagados han sacado al ejército y la Marina de los Cuarteles y creado instituciones sin una clara misión como la Guardia Nacional que terminara corrompiendo ante el poder ya empoderando a los carteles.

En el año 2020 un estudio del CIDE dentro de Programa de Investigación Política de Drogas documentó la existencia de 150 grupos criminales. Su investigación se recabo 9 mil notas periodísticas aparecidas durante 2020 para arribar estas cantidades. Solo en la ciudad de México donde el gobierno del Alcalde Mancera llegó a declarar que no había carteles se documentó la existencia de 51 grupos criminales. (CIDE, 2020).

Para el año 2022 se estima que hay entre 12 y 17 carteles importantes. Este crecimiento de tres a 12 o 17 según las fuentes, demuestra que la estrategia de supresión de nodos sin ninguna estrategia hace aumentar la red, en este caso una red obscura en las cuales profundizaremos más adelante.

Figura 32. Mapa de Grupos Criminales en el año 2021.



Fuente: Startor Worldwide 2021

4) Crecimiento Acelerado (Accelerate Growth)

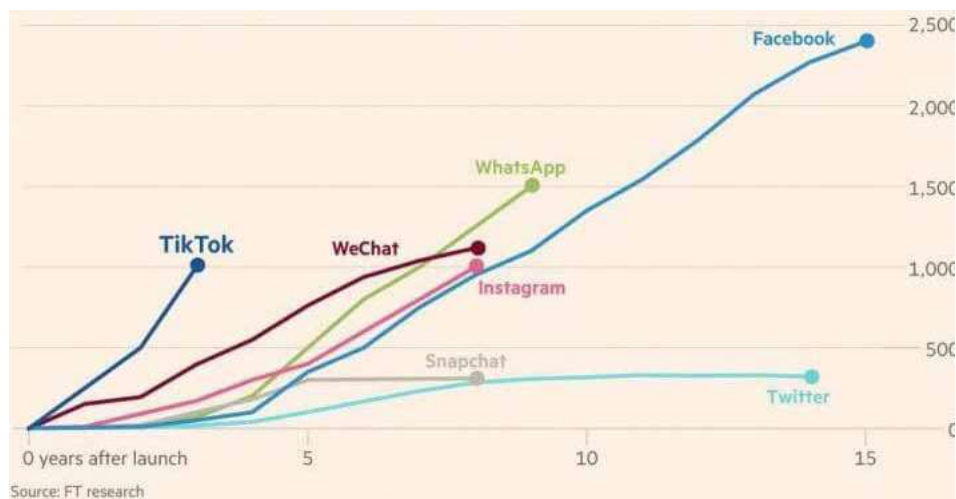
Algunas redes tienen una evolución increíblemente rápida, derivado de unos contextos cambiantes.

Esto supone en la práctica que su estructura cambie de una red de escala libre a una red más homogénea tipo aleatoria de tipo exponencial.

Según (Dorogoytsev & Mendes, 2002), "En muchas redes de crecimiento real de la media del número de conexiones por aumentos de vértices con el tiempo..." han demostrado que esta aceleración influye en la distribución de conexiones y puede determinar la estructura de una red. Así mismo, en su artículo alerta sobre las consecuencias generales de la aceleración y demuestran sus características con ejemplos simples.

El crecimiento acelerado se comprende claramente en el caso de la estructura de la Word Web estos autores proponen modelos del crecimiento acelerado de las redes para describir una transición condensación riqueza en las sociedades en evolución (Dorogoytsev & Mendes, 2002). La grafica 33, ilustra el crecimiento acelerado de Tik Tok en comparación con otra redes sociales. La pequeña duración de ellos videos y su popularidad, muestran la fugacidad de la relaciones de nuestro tiempo.

Figura 33. Crecimiento Acelerado de Tik Tok Millones de usuarios al mes



Fuente: (oRanturank, 2020)

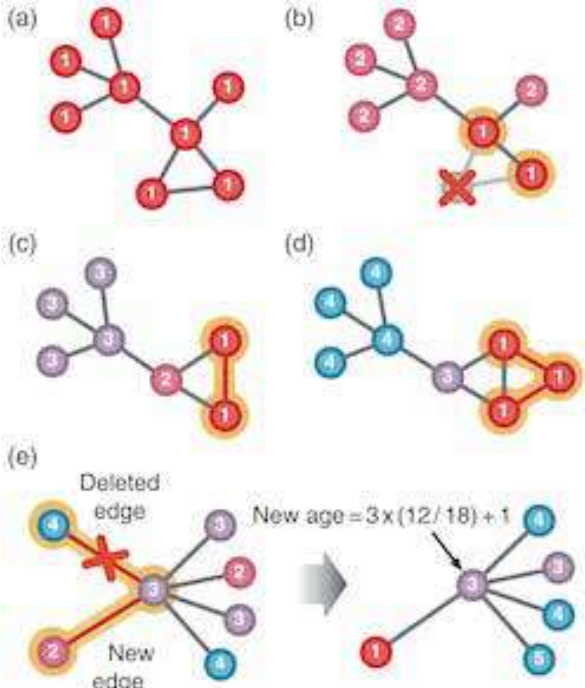
5) Envejecimiento de Redes (Aging Networks)

Mucho de los nodos en los sistemas reales tienen características similares a los seres vivos y por lo tanto envejecen. Aunque hay excepciones, en los cantantes su fama dura casi lo que su juventud y lozanía. En el caso de los actores y científicos los nodos no desaparecen abruptamente, sino que gradualmente reducen su capacidad de vincularse a otros nodos.

La teoría de las redes de envejecimiento se apoya en la procesos relacionados a la biología del envejecimiento. Kowald & Kirkwood, (1994). ‘propusieron el primer modelo para predecir los mecanismos específicos de envejecimiento. Según ellos el impacto de la salida paulatina de nodos ...” *conducen a la senescencia, a partir del comportamiento de sistemas biológicos con modelos computacionales y los datos cuantitativos relacionados con la biología del envejecimiento.*” (Kowald & Kirkwood, 1994, pág. 54).

Gracias a su trabajo es posible caracterizar el envejecimiento de una red. En la Figura 34 se ilustra en seis pasos como se reconfigura una red derivado del envejecimiento de la red.

Figura 34. Recompensación de Red por Envejecimiento de Nodos



Fuente: (Kowald & Kirkwood, 1994)

Creadores de Conceptos Fundamentales en la Teoría de Redes Complejas

EL EFECTO DE MUNDO PEQUEÑO (STANLEY MILGRAM)

Stanley Milgram ahora muy conocido en la teoría de redes moderna, fue un psicólogo norteamericano de origen húngaro - rumano que condujo un experimento que ahora resulta muy controversial y que le permitió descubrir una de las propiedades más interesantes de las redes complejas llamada *mundo pequeño* según el cual todos los seres humanos estamos a seis grados de separación.

Milgram es un caso de alguien que pasa a la historia de una disciplina sin haber estudiando formalmente psicología. Obtuvo un pregrado en Ciencias Políticas por la Universidad Nueva York, pero fue rechazado cuando trato de estudiar Psicología Social en Harvard y sólo hasta que estudio seis cursos de compensación se le permitió la admisión. En el IPN a mí me fue peor, me pusieron 17 cursos para ingresar al Doctorado en Ciencias Administrativas y aunque estoy muy lejos de Milgram a la fecha de escribir este libro tengo el honor de tener la máxima distinción que otorga el CONACYT, en los 180 años de mi Facultad, la Escuela Superior de Comercio y Administración.

Milgram realizó interesantes experimentos sobre la obediencia y la autoridad que son objeto de culto.¹³ Como era de origen judío se interesó en saber si en la época nazi la población alemana había actuado de esa forma por respeto a la autoridad." *La cuestión surge para saber si hay conexión entre lo que hemos estudiado*

13. ...*"En este experimento se eligió a voluntarios que debían asumir el rol de maestro y preguntarle cosas a un "alumno" que en realidad era un actor. Si el alumno erraba la respuesta el maestro debía castigarle con descargas eléctricas que iban de 15 volts a 450. Lo increíble es que la mayoría de los participantes pese a saber que hacían daño a su Alumno castigaban al alumno. Si el Maestro manifestaba dudas en conminado cuatro veces con las siguientes frases: Siga por favor . En necesario que continúe.. Debe continuar."* Solo después de esta exhortación terminante, si el voluntario se negaba a continuar, se paraba el experimento. Si no, se detenía después de que hubiera administrado el máximo de 450 voltios tres veces seguidas. A partir de esto Milgram elaboró dos teorías la del conformismo y la de la cosificación para explicar porque actuaban así las personas comunes y corriente ante la tortura de un ser humano..". (Milgram, 1974).

en el laboratorio y las formas de obediencia que hemos condenado de la época nazi
“ (Milgram, 1974).

El experimento de los Seis Grados

En su experimento de los seis grados de separación Milgram trato de demostrar que cualquier otra persona en el mundo puede conectarse a otra con no más de cinco intermediarios (conectando a ambas personas con sólo seis enlaces de allí el nombre de seis grados), algo que se ve representado en la popular frase: “el mundo es un pañuelo”.

El supuesto del que partió Milgram es que el número de conocidos de las personas comunes y corrientes crece exponencialmente al crecer los enlaces en la cadena de relaciones y con, seis enlaces la población humana entera se puede conectar entre sí. Esto tiene sentido si consideramos

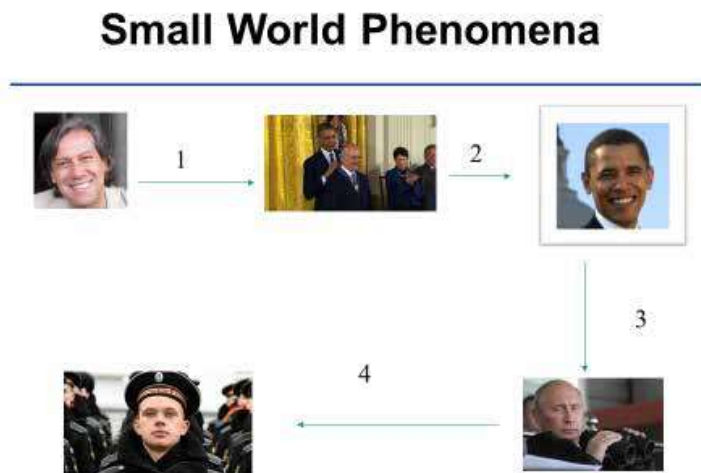
Milgram tomo como hipótesis que hasta las personas más hurañas tienen al menos 100 contactos. Esto ha sido reafirmado por Duncan Watts según lo cual cualquier persona conoce de a unas 100 personas entre amigos, familiares y compañeros. *” Si cada uno de esos amigos o conocidos cercanos se relaciona con otras 100 personas, cualquier individuo puede pasar un recado a 10.000 personas más con solo pedir a sus amigos que pasen el mensaje a sus propios amigos. (...) Si esos 10.000 conocen a otros 100, la red se vuelve de 1.000.000 de personas conectadas en un tercer nivel, a 100.000.000 en un cuarto nivel, a 10.000.000.000 en un quinto nivel y a 1.000.000.000.000 en un sexto nivel...”* (Wikipedia.org, 2019)

Puesto que el mundo tiene 8,000 millones de persona al momento de escribir este libro. (Countrymeters, 2022) y seis personas conectadas puede conocer hasta 10 mil millones. Entendemos que es creíble que tenemos el potencial de conocer a cualquier persona en el mundo.

Por poner un ejemplo algo petulante. Supongamos que yo deseo contactar a un joven soldado ruso que trabaja en Crimea Rusia y a quien yo no conozco. Esto sería un gran problema ya que no tengo a ningún amigo ni conocido ruso, sin embargo, puesto que conozco a Mario Molina por haber trabajado con él y esté a su vez conoce al presidente de Estados Unidos porque es su asesor y le entrego una medalla, y el presidente Obama a su vez conoce al presidente de Rusia Vladimir Putin y este a su vez por ser alguien tan poderoso puede contactar a cualquier un soldadito ruso que trabaja en Crimea, o en cualquier parte de Rusia. Entonces yo a pesar de ser un profesor con pocos (nulos) contactos políticos podría en 4 pasos

estar en contacto con el joven soldado que parece en la foto. Tal como se muestra en la Figura 35.

Figura 35. Pasos para que LART contacte con un Soldado del Ejército Rojo

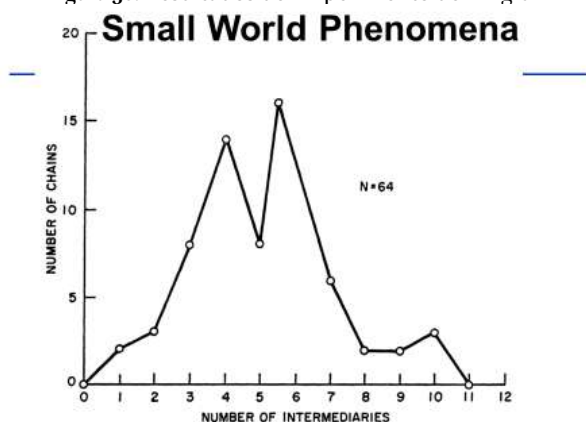


Fuente: LART

Ahora que Mario Molina ha fallecido y que el presidente Obama ya no es el presidente, el desafío de encontrar a un soldado del ejército rojo sería mayor, tendría que recurrir a los prestigiosos científicos rusos del IPN. Pero esa es otra historia.

La Figura 36, muestra la frecuencia de éxitos del experimento de Milgram.

Figura 36. Resultados del Experimento de Milgram



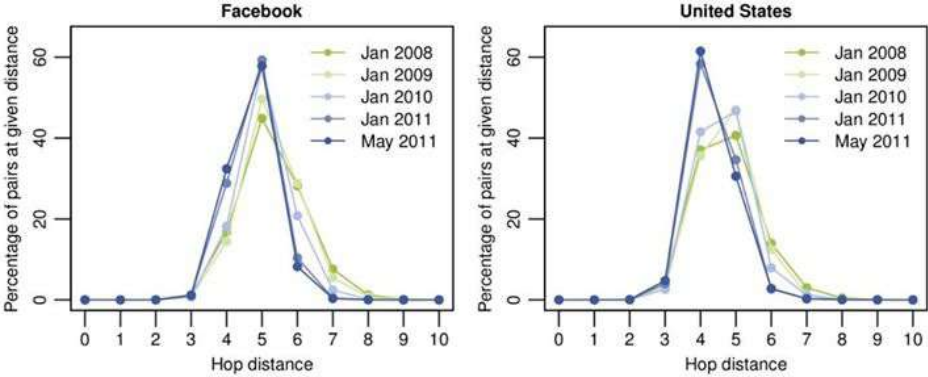
J. Travers, S. Milgram, Experimental study of the small world problem, Sociometry (1969)

Fuente: (Facebook, 2012)

El experimento de Milgram fue criticado posteriormente porque no fue sincero en mostrar sus hallazgos y solo la tercera parte de las cartas llegaron a su destino, y él solo midió el éxito. Así mismo, las personas que eligió era de clase media alta, gente elegida tenía relaciones e ingresos que no representaban a la media. A pesar de las críticas estudios posteriores realizados por Watts y Facebook, encontraron resultados similares a los de Milgram. Incluso en el experimento de Facebook el 99,6% de usuarios tenían no seis sino 5 grados de separación (Facebook, 2012).

Más aun en la Figura 37, se muestra que en los Estados Unidos el grado de separación es cercano a 4. Esto permite especular que en 50 años el número de pasos se ido reduciendo lo que hace suponer que cada vez estamos todos más cerca de todos. Aunque las figuras son información hace más de 10 años, esto es irrelevante ya que demuestra que los pasos que nos separan a los miles de millones de humanos están entre 4 y 5 pasos. Es decir, menos de los que mencionaba Milgram en su estudio. La disminución de los pasos tiene que ver con la manera en que nos ha acercado el uso de las redes sociales.

Figura 37. Pasos de separación entre usuarios de Facebook entre 2008 y 2011 en Estados Unidos y el mundo



Fuente: (Facebook, 2012).

En Estados Unidos donde la conectividad era prácticamente universal a internet hace 11 años el número de grados de separación es menor que en el resto del mundo.

LA FUERZA DE LOS LAZOS DÉBILES (MARK GRANOVETTER)

Mark Granovetter es uno de los sociólogos estadounidenses, mas celebres.

Su trabajo y sus hallazgos son muy relevantes en la teoría de las redes sociales y la sociología económica. Su aportación más conocida es la teoría de “la fuerza de los lazos débiles”. Aunque en realidad la concibió en el año 1973 cuando las redes sociales, y los teléfonos móviles inteligentes no existían.

Según Granovetter, los lazos débiles son personas con las que se tiene poco o ningún contacto, y no obstante pueden ser más relevantes que otras relaciones que se supondría es más relevante como la familia o nuestro amigos cercanos. Granovetter descubrió que esta clase de vínculos aparentemente débiles llegan a ser relevantes en la búsqueda de un trabajo, en la organización de proyectos o incluso propician cambios determinantes en la vida de las personas.

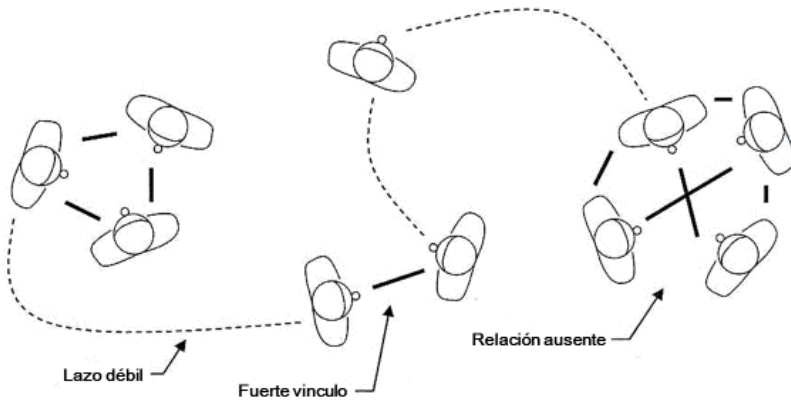
Los lazos sociales entre personas pueden ser de tres tipos: fuertes, débiles o ausentes.

..“La razón por la cual los vínculos débiles son más ricos en información novedades es simple. Existe más información nueva en individuos que no conocemos. Nuestros amigos cercanos suelen moverse en los mismos círculos sociales que nosotros y por tanto la información que reciben ya la sabemos. Personas conocidas pero lejanas, en cambio, conocen más personas que nosotros no, y por lo tanto reciben más información nueva que nos es desconocida...” (Granovetter, 1978).

Según Granovetter, los lazos interpersonales ausentes (*Absent Ties*) son contactos que quizás saludamos de lejos pero en realidad no conocemos ni son nuestros amigos. Aun cuando uno sepa sus nombres y si de sus perros, es un *lazo débil*. Si la interacción de estas personas no se percibe como valiosa se trata de un vínculo ausente. La fuerza de un lazo interpersonal está asociada al tiempo, intensidad emocional, intimidad y ayudas recíprocas que tenemos con los que consideramos amigos verdaderos.

En la Figura 38, se ilustra una red con dos personas A y B elegidos al azar, donde A está fuertemente ligado a B y C, por lo cual sus lazos sociales son importantes. La ausencia del lazo B-C, crearía una triada prohibida (*Forbidden Triad*).

Figura 38. Ilustración de Lazos Débiles y Fuertes



Fuente: (leadershipcloseu, 2012)

En este modelo grafico se comprende que existen individuos que tienen tan solo unos lazos débiles que suelen estar privados de información de un sistema social informándose solo remotamente es sus amigos cercanos.

En contraste la propagación de rumores que es un fenómeno complejo que puede tener consecuencias mortales como prueba los barbaros linchamientos que se cometen en pueblos de México, donde el rumor es una arma asesina, sólo pueden ser atenuados por medio de lazos fuertes.

Son cuatro las aportaciones fundamentales de Granovetter al estudio de las redes:

1 La fuerza de los vínculos débiles. Como dato curioso que busca animar a los colegas a quienes rechazan sus artículos en las grandes revistas. Granovetter tiene un artículo que se llama *La fuerza de los lazos débiles* con más de 30,000 citas según Google Scholar. Lo postulo a *American Sociological Review*, pero fue rechazado. Uno de los revisores, declaró: "... no debe ser publicado". Aunque lo presento en 1969 fue publicado hasta 1973 en *American Journal of Sociology*, y es uno de los artículos más citados no solo de la Sociología, sino de las Ciencias Sociales. Su gran aportación fue descubrir que los vínculos débiles permiten vincular contactos no accesibles a través de lazos fuertes (Granovetter, 1978).

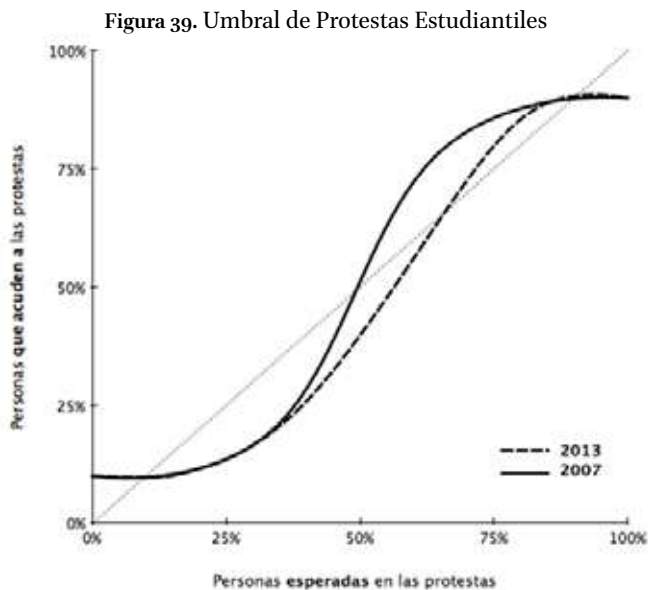
2 El enraizamiento de actores económicos. En su artículo "Acción Económica y Estructura Social: Granovetter propuso el concepto de "enraizamiento", para describir las relaciones económicas entre los individuos o empresas en redes donde no existen en los conceptos abstractos que suponen los eco-

nomistas. Según él en todas las economías hay un enraizamiento de relaciones sociales e institucionales (Granovetter, 2005).

3 Modelos de Umbral. Granovetter propuso el modelo de umbral de la conducta social, los cuales permiten analizar las acciones colectivas y las preferencias de los participantes y la interdependencia de las decisiones en una crisis social. Los modelos de umbral de Granovetter obligan a elegir a los actores sociales entre acciones excluyentes como ir a una huelga, acudir a una marcha de protesta, o migrar o no migrar, incendiar una tienda o cargar contra la policía.

El concepto de umbral se asocia al número de personas que deben tomar una decisión evaluando si las ventajas son más importantes y valiosas que la confrontación. El modelo de umbrales predice la proporción, 15%, 20%, 30% etc. requerida para traspasar el umbral. Una mala decisión puede escalar el conflicto hasta el caos y tiene el potencial de propiciar grandes cambios sociales. Las manifestaciones por la muerte del Americano a manos de un policía de George Floyd en 2020 y el movimiento Black lives matters son un ejemplo.

La Figura 39 ilustra el modelo de umbrales en un ejemplo aplicado a las personas que se esperan en una manifestación, comparando las protestas de 2007 con las esperadas en el año 2013.



Fuente: (Villamil, 2013)

El estudio de los umbrales se usa en la policía para tomar decisiones sobre cuándo y con qué intensidad intervienen la fuerza pública para prevenir destrozos y una posible revuelta de mayores costos a las vidrieras rotas de algunos negocios donde se esperan las protestas.

4) Los Diagramas de Granovetter

El trabajo de Granovetter ha influido investigadores en seguridad que estudian las agrupaciones criminales o las frecuencias de los delitos en un colectivo social específico basados en la capacidad de los actores de asociarse. Las interacciones en estos sistemas se pueden describir utilizando “diagramas Granovetter”, que ilustran los cambios en las relaciones entre los objetos. Un ejemplo de ello se ilustra en la Figura 40 se muestra una aplicación de los diagramas de Granovetter al mundo empresarial realizada por (Salavisa, Videira, & Santos, 2009) en una investigación aplicada a la industria de TI en Portugal. En la figura los círculos son empresas encuestadas; los cuadrados son las organizaciones con las que tienen vínculos; Las líneas representan los vínculos entre las empresas encuestadas y otras organizaciones. Las líneas más gruesas representan una mayor intensidad del lazo, medida por la frecuencia de contactos (de 1 - anual a 5 - diario). Aquellas con letras mayúsculas (A, B, C,...) son empates, medido por el número y tipo de recursos que fluyen en el empate; los otros representan lazos débiles.

la” inmanente Internet “(ambos con Bernie Hogan),” medios-multiplicidad “(con Caroline Haythornthwaite), “ individualismo en red “y” sociedad en red “,” comunidad personal “y” red personal “ y tres:”. hiperconectividad “,” virtualidad local “y” localidad virtual “ con Anabel Quan-Haase (Redes sociales, 2015)

Según Wellman las redes forman parte intrínseca de la organización social natural, porque el mundo se organiza en redes, en el que las interacciones se dan con terceros muy diversos. Para él es posible hacer comunidad sin requerir los encuentros físicos.

Wellman encontró en concordancia con los hallazgos de Granovetter que los usuarios de Internet reciben más ayuda extraños que de amigos y familiares. Y confirma que la relación puede ser débil o fuerte. En las redes virtuales los lazos débiles son más frecuentes porque al compartir intereses comunes la capacidad de novedad es baja. En pocas palabras uno tiende a juntarse con personas que son como uno. Así estén muy lejos geográficamente. Esa es la magia de las redes sociales.

Uno de los hallazgos más relevantes del trabajo de Wellman es que el mundo virtual como una forma de aislamiento social es falsa. Aquellas personas que presentaban mayores grados de sociabilidad en la realidad son también los que presentan mayores niveles de sociabilidad en la red virtual y viceversa. (Redes sociales, 2015).

Conceptos Fundamentales en las Redes Sociales

En 1990 al estudiar la vinculación de las relaciones interpersonales de personas con los síntomas psiquiátricos. Wellman documentó la prevalencia de la amistad y de parentesco y los lazos no locales en sus redes sociales. En un segundo estudio realizado en 1978-1979 entrevistó a profundidad a 33 residentes para obtener más información sobre sus redes sociales. Encontró que las hermanas proporcionan apoyo emocional, y los padres ayuda financiera. También demostró que las esposas mantienen las redes sociales para sus maridos, tanto como ellos mismos. Por lo tanto, en las redes sociales la frecuencia y el apoyo de contacto interpersonal es no lineal con la distancia residencial. Dicho como dicen en mi pueblo: “cuando el amor es grande las distancias son cortas”.

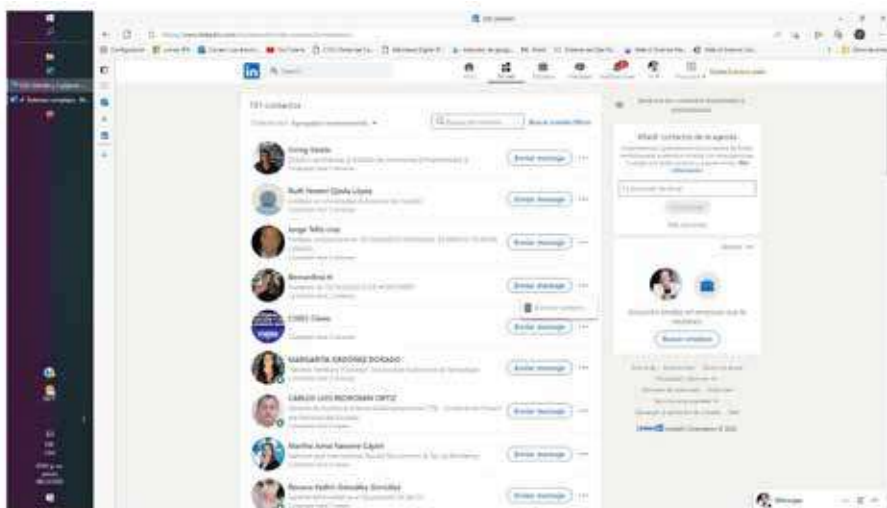
Teoría de las redes sociales. Wellman ha contribuido también al análisis histórico de la red social, describiendo sus principios básicos. Su trabajo alerta sobre el aumento del individualismo en red con las redes individualizadas.

Métodos para comprender redes científicas. Wellman al estudiar las redes de citación científica concluyó que los académicos reunidos en mismo artículo se convierten en amigos.

Redes de trabajo y las TIC. En 1990 encontró que tanto la amistad como el trabajo colaborativo son impulsores de la conectividad con apoyo de la mensajería instantánea y el correo electrónico, sobre todo con las relaciones débiles y que las redes sociales no son sólo un medio de comunicación a distancia, sino que mejoran la relación entre vecinos y la participación ciudadana (Wellman, 2001).

La Figura 41 se muestra la clásica red de profesional de Likendid de LART. Esto es una red es de tipo social profesional, muy recomendable para buscar colegas perdidos y para recibir ofertas y buscar trabajo. Recomiendo a todos mis lectores darse de alta ya que es muy útil y es gratuita. Conozco varios casos entre ellos mi querido hermano, actualmente director de Merck Mexico, que consiguió su súper empleo por este medio.

Figura 41. Red Social Profesional de LART en Likendin



Fuente: Likendin Luis Arturo Rivas-Tovar

SISTEMAS DINÁMICOS EN REDES SOCIALES (STEVE STROGATZ)

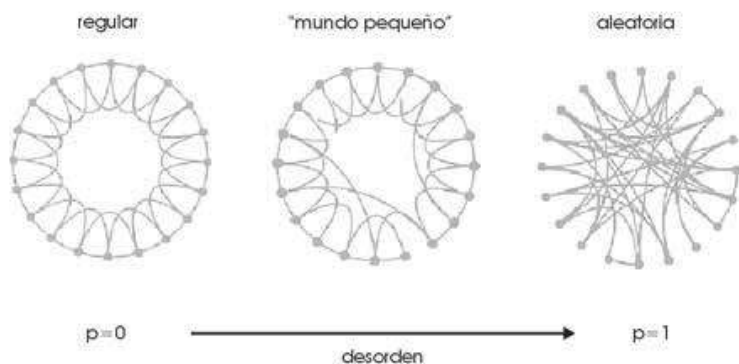
Strogatz fue uno de los pioneros en los estudios sobre la Sincronía de sistemas dinámicos y en redes complejas. También se interesó por los problemas de la biología matemática, incluyendo la geometría del ADN, el comportamiento colectivo

de los osciladores biológicos, la inteligencia de enjambres. En su libro destaca Sincronización, elegido o el mejor libro de El cálculo de la Amistad, de 2009.

Sin embargo, la publicación de su artículo Dinámicas colectivas en mundo pequeño publicado en 1998 con Duncan Watts, es su obra más conocida y citada. En describe aplicaciones de redes complejas, a la física estadística, a la sociología, los negocios, la epidemiología y la neurociencia. (Strogatz S. H., 2001).

La Figura 42, muestra que cualquier clase de red puede representarse con nodos y vértices. Y en las redes aleatorias, cada vértice se conecta arbitrariamente con otros nodos en la red. Tanto en las redes de escala abierta como en las aleatorias se observa un comportamiento *fractal*. En métricas de centralidad de redes Strogatz encontró que hay un coeficiente de agrupación de redes, En la Figura 42 se ilustra tres redes que van desde la regularidad absoluta al desorden absoluto.

Figura 42 Modelo de Watts y Strogatz



Fuente: (Aprender a pensar, 2015)

En su experimento Watts y Strogatz introdujeron a una red altos grados de desorden que siguen creciendo. Su conclusión fue que sólo se necesitan quitar unas pocas conexiones aleatorias que un gran mundo se vuelva mundo pequeño (Strogatz, 1994).

DINÁMICA EN REDES SOCIALES (DUNCAN WATTS)

Duncan J. Watts saltó a la popularidad científica el artículo Nature de 1998 publicó con Steven Strogatz. Posteriormente escribió el libro “Seis grados: la ciencia conectada” (Watts, 2003). Su enorme éxito lo hizo abandonar Columbia y ser profesor externo del Instituto Santa Fe, donde dirigió el Grupo de Dinámica colecti-

va. Fue investigador principal de Yahoo! Research, donde dirigió el grupo Human Dinámica Social. Posteriormente trabajó Microsoft Research.

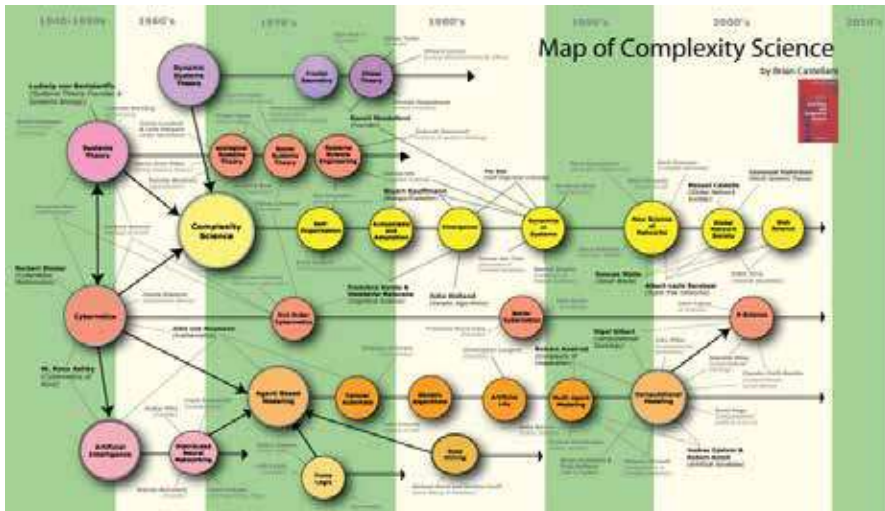
Sus temas de investigación posteriores al modelo de mundo pequeño el contagio de la información, gestión de riesgos financieros, y el diseño organizacional. Replicó la investigación de Milgram con las bases de Microsoft. En su libro *No tan Obvio* donde plantea diversos cuestionamientos: ¿Por qué Facebook tiene éxito cuando otros sitios de redes sociales fracasaron? ¿La guerra en Irak realmente conduce a menos violencia? Watts sugiere que estamos al borde de una nueva era de descubrimiento científico social con profundas implicaciones para negocios, la política y la cultura (Watts, 2011). El estudio de las redes sociales y sus dinámicas es algo que recién inicia a estudiarse. El comportamiento de los votantes en las democracias contemporáneas ha roto la credibilidad de las empresas encuestadoras que han tenido escandalosos fracasos al tratar de predecir triunfos electorales.

Mapa de la Ciencia de la Complejidad (Brian Castellani)

Castellani es un especialista en Complejidad en Salud, Estudio Psicología y luego se Doctoró en Sociología Médica. Tiene una amplia labor científica de divulgación y su mayor aportación ha sido proponer mapa de la complejidad que aunque se rebate en este libros por ausencias importantes, ha sido una inspiración que nos guiado en la organización general de este libro para hacerlo más claro y sistemático añadiendo importantes autores olvidados. (Castellani, 2013).

La figura 43, muestra la propuesta de Castelliani.

Figura 43. Mapa de Ciencias de la Complejidad

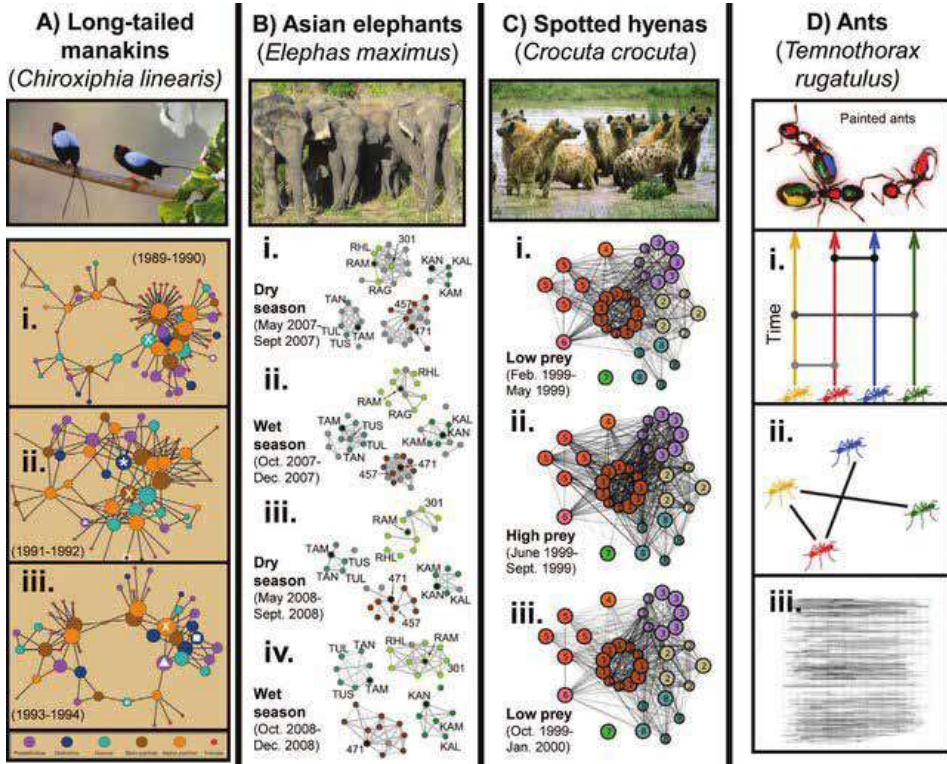


Fuente: (Castellani, 2013)

DINÁMICA DE REDES SOCIALES ANIMALES (PINTER-WOLLMAN, Y OTROS)

El estudio de la dinámica de redes sociales no solo se ha circunscrito a humanos, En los últimos años los biólogos lo han aplicado al estudio del comportamiento animal. En la figura 44, se muestran cuatro redes que estudian el comportamiento social de mamíferos de gran tamaño, elefantes asiáticos, hienas y hormigas (Pinter-Wollman, y otros, 2014, pág. 10)

Figura 44. Comportamiento Social de Cuatro Especies de Animales



Fuente: (Pinter-Wollman, y otros, 2014)

Una de las aportaciones más interesantes de Pinter – Wolman (2014) es que hace un resumen de los distintos enfoques metodológicos del análisis de redes sociales animales, y por ello su artículo que puede ser consultado gratuitamente es una lectura imprescindible para los interesados en estudiar las redes sociales en animales .

LAS REDES OSCURAS (SEAN EVERTON)

Las redes oscuras están orientadas al estudio de organizaciones ilegales, como son grupos del crimen organizado tales como traficantes de drogas, productores de pornografía infantil, grupos de ideología extremas como supremacistas blancos, neofascistas, grupos guerrilleros en el otro espectro ideológico que fácilmente se unen a otros grupos criminales como es el caso de la FARC colombianas que crearon un entramado criminal que incluía secuestros y tráfico de drogas

para financiar “la causa “. Asimismo existen grupos anarquistas, hackers y en el punto más alto del mal destacan los grupos y organizaciones terroristas. Estos grupos usualmente son concebidos como una amenaza a la seguridad del Estado y son combatidos por agencias nacionales de inteligencia. Los narcotraficantes por mucho tiempo fueron materia exclusiva de otros cuerpos de seguridad del estado En Estados Unidos existen tres grandes agencias que son el FBI que estudia a grupos criminales que cometen delitos en el ámbito federal que involucra a varios estados, la CIA que en la agencia de seguridad para combatir amenazas externas de grupos terroristas y de gobiernos hostiles y la DEA orientada al combate de carteles de la droga.

En México esta diferencia no esta tan clara. Desde gobierno del Presidente Calderón se tomó la decisión de involucrar a la Marina y al Ejército en la lucha contra lis carteles de la droga han creado verdadero consorcios criminales que tiene diversos negocios ilícitos relacionados además del tráfico de drogas. Una externalidad negativa del desmantelamiento y captura de los grande capos del narcotráfico ha favorecido la reorientación de estos grupos hacia otros ilícitos tales como , el robo de combustibles por grupos llamados *huchicoleros* que han evolucionado a ser también secuestradores y extorsionadores que cobran “Derecho de piso” a los comerciantes formales y a transportistas. Recientemente incluso han tenido la desfachatez de tomar las casetas de pago en autopistas federales y cobrar ellos el peaje

El estudio de “redes oscuras”(*Dark Networks*), por lo tanto se han centrado en estudiar organizaciones ilegales. ya que sea encontrado evidencia que son terroristas y criminales que tienden trabajar en grupos o colaborar con otros en sus actividades (Zhang, , Zeng, Fan , & Dang, 2009)

La investigación sobre redes oscuras ha sido abordada desde distintos enfoque dentro de los que destacan: la dinámica de los grupos criminales, (Bright, Hughes & Chalmers, 2012), así como la resiliencia de las redes oscuras (Roberts & Everton, 2016), y la interacción dentro y entre los grupos extremistas, terroristas o criminales (L’Huillier, Alvarez, Ríos & Aguilera, 2011).

Definición de Red Oscura

Son agrupaciones de personas u organizaciones que colaboran con el propósito de cometer acciones criminales y que ocultan sus actividades

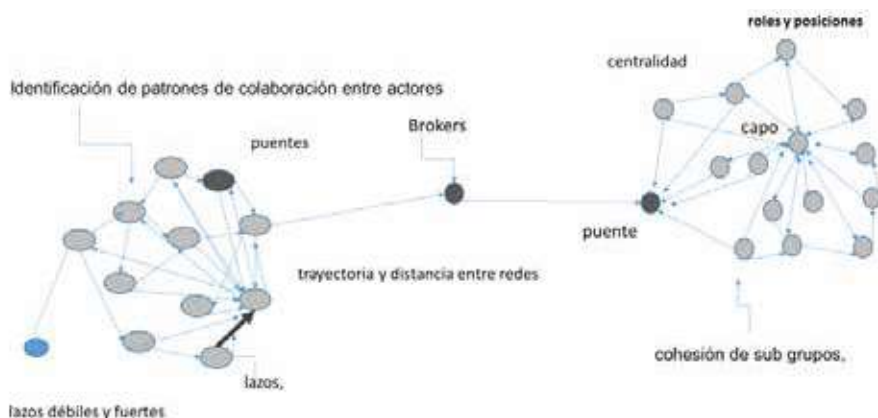
Identificación de Variables de Centralidad en Redes Oscuras

En las redes oscuras un elemento clave es identificar los roles de participación en la red y su topografía. Son tres grandes variables las que se estudian en una red oscura. La densidad de la red que son el ratio de los actuales y futuros vínculos de la red, lo que permite evaluar su capacidad de diseminación.

Las medidas de centralidad tales como su grado, tamaño, cohesión e intermediación.

Adicionalmente resulta imprescindible medir las siguientes métricas: Actores, lazos, redes sociales y análisis de redes sociales, trayectoria y distancia entre redes, topografía de redes, cohesión de sub grupos, brókeres y puentes, roles y posiciones, identificación de patrones entre actores, interdependencia de actores, lazos débiles y fuertes (Everton, 2012). Estas métricas se ilustran en la Figura 45.

Figura 45. Métricas de las Redes Oscuras



Fuente: Elaboración propia

Una de las dificultades que enfrenta el investigador es la recogida de la información ya que el acceso a las fuentes puede ser peligroso y muchas veces es información de inteligencia reservada.

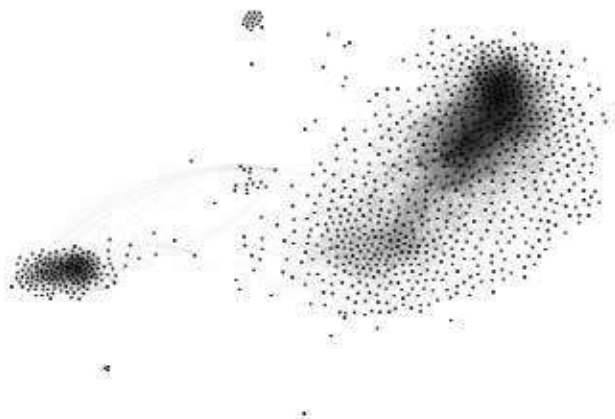
En el análisis de estas redes se concentra en el comportamiento de sus que es lo que define su eficiencia. Es muy importante identificar lo que se llama el intermediario puente. *Bridegesy Broker*

La figura 46, ilustra una ejemplo de red obscura que su un algoritmo denominado gráficos dirigidos por la fuerza Permite dibujar la red es un espacio bidimensional o incluso tridimensional .

La figura ilustra a un conjunto de actores que han recibido amenazas del crimen.

..“Se usa la modularidad que es una métrica , de las redes diseñadas para medir la calidad de la división de una red en módulos. Una buena subdivisión de una red tiene alta modularidad; dentro de los módulos, los nodos tienen conexiones densas, pero estas conexiones se vuelven dispersas entre los nodos de diferentes módulos. Utilizamos el método Louvain, algoritmo capaz de manejar grandes redes ponderadas ...” (Tirados, 2018)

Figura 46. Red Obscura de Actores Amenazados por Crimen Organizado



El software más recomendable para dibujar las redes obscura es Pajek, que permite el análisis longitudinal y el software ORA que permite la visualización geográfica con pesos relativos de la red social.

El combate a las redes oscuras tiene dos perspectivas de combate para las agencias de seguridad del estado. Los enfoques directos que buscan conocer la ideología, la infraestructura, la comunicación, las actividades y los recursos de una red obscura. El objetivo es proponer alternativas legales a la actividad ilícita y dar opciones a los actores a reintegrarse a la sociedad si se trata de un grupo de interés con amplia base social. Cuando se enfrenta a grupos terroristas que amenazan al Estado. Los *enfoques indirectos* buscan transformar las condiciones del

contexto que fomentan las operaciones de la red oscura, aplicar la ley y obligar a los grupos a rendirse .

El cuadro 1 resume las acciones que suele tomar los gobiernos ante las redes oscuras considerando que muchas veces su existencia es producto de años de olvido gubernamental y falta de acciones de equidad en poblaciones vulnerables a ser seducidas por actividades criminales como un medio de subsistencia. Es el caso de muchos campesinos que deciden sembrar marihuana o amapola. Mientras que en toda América Latina salvo Uruguay y Colombia se considera ilegal, en estados Unidos es un mercado floreciente. Es el caso de la amapola. Los mayores productores legales son Australia y España ya que es un opaco que se usa para fines medicinales. En México sin embargo, su uso está prohibido. Los campos sembrados son quemados y los campesinos pobres de la sierra de Guerrero se les considera narco traficantes por lo que muchos se integran al crimen organizado. Es por ello de las acciones remediales identifican el contexto y las condiciones que orillaron a un grupo social al crimen.



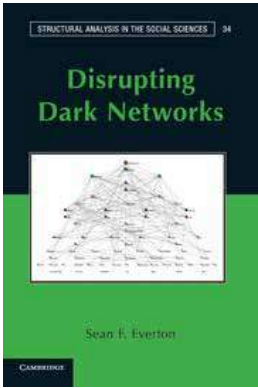
Si se trata de grupos terroristas que atentan contra el poder del Estado y desafían su monopolio de uso legítimo de la violencia, *las acciones son directas*. Los grupos de estas redes oscuras son atacados sin contemplaciones y aniquilados ya que aterrorizan a la sociedad y se aplica la ley. El cuadro 6 muestra el resumen de estas acciones remediales de combate.

Cuadro 6. Estrategias de Combate a Redes Oscuras.

Redes oscuras		Enfoques de Combate	
		Directos	Indirectos
Enfoque de desarrollo	Seguridad	Atacar la red	Obligar a cumplir la ley
	Desarrollo	Ofrecer alternativas legales	Proveer servicios esenciales

Fuente: (Bryan & Managuelod, 2013)

Algunos de los trabajos más relevantes sobre los conceptos fundacionales de redes complejas y ciencias sociales se describen en el cuadro 6.

Libro /paper	Autores	Descripción
	<p>(Barrat, Barthelemy, & Pastor-Satorras, 2004)</p>	<p>.. Estudian la red de colaboración científica y la red mundial de transporte aéreo, que son ejemplos representativos de grandes sistemas de infraestructura social y, respectivamente.</p> <p>(...) Los resultados describen jerarquías y principios organizacionales en la base de la arquitectura de redes ponderadas...”(Barrat, Barthelemy y Pastor-Satorras, 2004)</p>
	<p>(Benson, Gleich, & Leskovec, 2016).</p>	<p>... ”La organización de redes complejas, a nivel de pequeños subgrafos de red, sigue siendo en gran parte desconocida. Aquí, desarrollamos un marco generalizado para agrupar redes sobre la base de patrones de conectividad de orden superior. “</p>
	<p>Everton, S. (2012). Disrupting Dark Networks Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139136877</p>	<p>Describe de una manera didáctica y clara la forma en que se analizan las redes oscuras. Incluye ejemplos de captura de datos y uso de los software, lo cual lo hace uno de los libros más claros sobre el tema y es muy recomendable para los interesados en el análisis de grupos del crimen organizado.</p>

Capítulo 6.

Sexto Tributario. La Simulación en Sistemas Complejos

En este capítulo se estudiarán las diferentes técnicas de simulación de sistema complejos que se han desarrollado a la fecha. Se describir de una manera básica: el MBA y los diferentes enfoques y teóricos de esta técnica predictiva. Los autómatas celulares. La simulación con Algoritmos Genéticos, el modelado Multi agente y la minería de datos que no es una técnica compleja y el Análisis Masivo de Datos (Big Data) que lo es parcialmente.

Definición Modelación Basada en Agentes

Simulación predictiva y *simplificada* de la realidad mediante el análisis del *comportamiento de agentes* que forman parte de procesos de un sistema evolutivo.

En nuestra definición cabe destacar tres palabras clave: *Predictiva*, ya que permite especular con solidez empírica sobre la manera en que un sistema se desarrollará en el tiempo. *Simplificada*, ya que la realidad no suele tener 4 o 5 variables.

Comportamiento de agentes, ya que se asume una cantidad limitada de elecciones de los agentes,

Sistema Evolutivo, ya que los sistemas complejos como hemos visto evolucionan y mutan en diversas direcciones.

En la literatura en castellano también se les llama: Sistema multi- agentes, sistemas basados en agentes y Modelación Basada en Agentes (MBA) a partir de ahora. En ingles se le llama Agent-Based Model.







¿Quiénes son los Agentes?

Por agente debemos de entender a un ente que es capaz de evaluar su situación en el contexto y tomar decisiones sobre unas reglas de decisión e interacciones obteniendo con ello *un patrón de comportamiento*. Los agentes pueden ser físicos o virtuales. Un agente puede ser un átomo, una célula, un virus, un animal, una persona, una organización, un pueblo, una ciudad. Se supone que los agentes individuales tienen una racionalidad limitada, y actúan de acuerdo a sus propios intereses en la reproducción, desarrollo económico o condición social, usando re-

glas de decisión simples. En esta técnica se asume que *los agentes* pueden aprender, adaptarse y reproducirse.

En la figura 1 se ilustra dos tipos de consecuencias de la acción colectiva de los agentes. Lo cual nos permite ver el efecto a mediano y largo plazo. En el primer ejemplo aparecen unos bellos periquitos, en la fase uno los agentes son apenas una pequeña parvada pero cuando se juntan cientos de ellos despliegan algo que se llama en sistemas complejos, inteligencia de enjambres. Los bellos periquillo en conjunto pueden causar consecuencia indeseadas, por ejemplo convertirse en un especie invasora y amenazar a la fauna autóctona o ser un problema para aviación y se incluso responsables de una catástrofe aérea.

Figura 1. Tipos de Agentes y Evolución

<p>Agente1</p> 	<p>Fase 1</p> 	<p>Fase 2</p> <p>Inteligencia de enjambres</p> 
<p>Agente 2</p> 	<p>Fase 1</p> 	<p>Fase 2</p> <p>Consecuencias de los Agentes</p> 

Fuente: Google imágenes.

Regresando a la figura 1 en el caso del agente 2 que es un pacifico agricultor que decide quitar sus árboles y sembrar maíz, a él le empieza ir muy bien y derivado

de su éxito otros campesinos le imitan el efecto colectivo de cultivar la tierra sobre una montaña con árboles con el tiempo crea un efecto de erosión que se aprecia en los huecos que se forman en los cultivos y con el tiempo no solo no hay nada que sembrar sino que además hay aludes de lodo que arrasan con el pueblo, generando muchas muertes, entre los una vez prósperos agricultores.

¿Qué Principios siguen los Agentes?

Modelos basados en agentes se considera tipo micro escala ya que describen el comportamiento de un agente de nivel inferior a un nivel macro. Tiene dos principios básicos: ...*“Una regla de comportamiento se basado en un divertido concepto llamado K.I.S.S. (Keep It Simple Stupid). El otro principio central Dice: el todo es mayor que la suma de sus partes...”* (Gustafsson & Sternad, 2010).

La mayoría de las investigaciones describen sistemas en equilibrio que evolucionan. Las tres ideas centrales de la MBA es que: son objetos, tienen un comportamiento emergente al actuar en conjunto, y su conducta es compleja.

Conceptualmente los agentes interactúan dinámicamente en el espacio y en el tiempo y este comportamiento se carga a uno del software que hay en el mercado. En ecología un agente puede ser los árboles en el bosque, que buscan optimizar su acceso al agua. En sociología los agentes pueden ser las empresas de cierto tipo que cotizan en la bolsa. En economía pueden ser la segregación social derivada de la pobreza extrema en comunidades indígenas. En desarrollo urbano pueden ser la construcción de viviendas en áreas de recargas acuíferas. El objetivo de usar Modelación Basada en Agentes es encontrar el punto de quiebre que el momento en el tiempo en el que las intervenciones tienen consecuencias extremas o irreversibles. Esta simulación de eventos permite evaluar el costo del *No hacer nada*.

Más que centrarse en estados estables, muchos modelos consideran las maneras en que un sistema complejo se adapta a las presiones internas y externas a fin de mantener sus funcionalidades. La tarea de aprovechar esa complejidad requiere la consideración de los propios agentes, su diversidad, robustez, la conectividad, y el nivel de interacciones.

¿Cuántos Tipos de Modelación Basada en Agentes existen?

Una técnica de relativamente reciente creación tiene poco más de 20 años. Inicia en 1997 sin embargo, las propuestas y tipologías han sido desarrollados a

partir del año 2000 por ello cabría afirmar que es una técnica de análisis del siglo XXI. En casi todas las escuelas de ciencias sociales no se conoce absolutamente nada de ella. Los que algo saben son los estudiantes de computación y algunos del área de sistemas de información.

Existen al menos 14 métodos de modelación que varían ligeramente en cuanto a las fases y el tipo de software que usan.

En su tesis doctoral Huerta (2014) identificó un total de 14 tipos de modelación. Sin embargo son 11 los más robustos. Los métodos tienen tres orientaciones metodológicas: Tipo cascada, evolutivo y recursivo. El cuadro , resume estos métodos y sus autores.

Cuadro 2. Enfoques Metodológicos de la Modelación Basada en Agentes

Método	Orientación Metodológica
<i>Gaia</i> , Wooldridge <i>et al.</i> (2000); <i>Roadmap</i> Juan <i>et Prometheus al.</i> (2002); <i>MASE</i> , DeLoach <i>et al.</i> (2001); <i>Agent Oriented Relationships</i> Wagner (2003)	Tipo Cascada
<i>OPM/MAS</i> , Sturm <i>et al.</i> (2003); <i>MASSIVE</i> , Lind (2002) <i>Ingenias</i> , Gomez- Pavon 2003; <i>Tropos</i> , Bresciani <i>et al.</i> (2001) Giunchiglia <i>et, al.</i> (2002); <i>PASSI</i> , Cossentino & Sabatucci (2004);	Tipo Evolutivo
<i>Pattern Oriented Modelling</i> , Grimm <i>et. Al.</i> (2010); <i>Modelación Topping</i> (2020).	Tipo Recursivo

Fuente: Elaborado aA partir de Huerta, 2014

Las etapas que sugieren estos modelos varían. La mayoría de ellos coinciden que el análisis, el diseño y la implementación son imprescindibles. Algunos autores proponen la verificación como una fase final de la propuesta.

Los modelos usan recursos gráficos que pueden ser de cinco tipos: cascada, evolutivo e incremental, de transformación, de espiral o bien, cíclicos y recursivos.

Un aspecto metodológico que debe subrayarse sobre su uso es que hay cuatro tipos de enfoques de acuerdo al tipo sistema a estudiar.

Sistemas exploratorios, para evaluar la viabilidad de futuras investigaciones. Se usan cuando hay entornos sin información sobre curvas de aprendizaje o existe información muy limitada o tan nueva que no existen precedentes. Modelos

descriptivos, utilizan plantillas de redes complejas de tipo estático donde existe información previa. Modelos de validación, llamados modelos virtuales multi-agente, mejor conocidos por su nombre en inglés virtual, *overlay multiagente system* (VOMAS) que se usan para validaciones cuando hay información abundante. Sistemas complejos para modelos que utilizan datos de interacción en varios componentes del sistema.

La descripción específica del entorno es la clave de la modelación basada en agentes.

Según (Simon, 1996) ...” El entorno en el que viven los agentes, tanto macro como micro, es el factor más importante en el modelado y simulación de trabajo basado en agentes. Por lo general un entorno simple proporciona agentes simples, pero los entornos complejos generan diversidad de comportamiento”

¿En qué casos se usan los MBA?

Según (Cardoso, Bert, & Podesta, 2015) la Modelación basada en Agentes se usan en 5 casos:

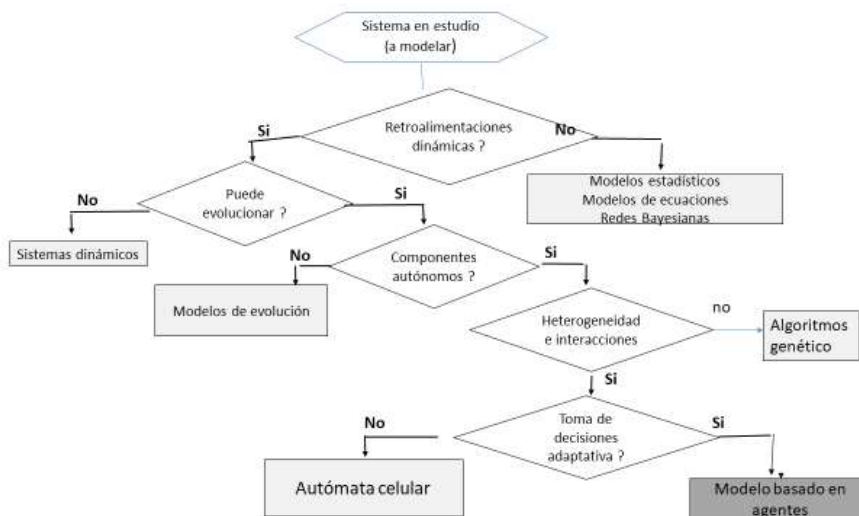
- a. Cuando existen interacciones complejas: son casos en que el comportamiento de un agente puede ser alterado dramáticamente por otro existe un alta no linealidad tanto discreta como continua. Es el caso de la irrupción de un depredador en un entorno sin depredadores.
- b. Cuando hay poblaciones heterogéneas. Es el caso donde los agentes tienen atributos diferentes y se requiere diferenciarlos. La modelación tradicional suele crear promedios que no son útiles para pronosticar acertadamente una evolución.
- c. Existe aprendizaje y adaptación. Es necesario explicar el comportamiento global en agentes que aprenden y se adaptan.
- d. Los agentes se mueven en el espacio: El comportamiento de los agentes puede cambiar drásticamente por una variación simple del medio ambiente. Ejemplo la introducción de las cabras en las islas galápagos.

En cuanto a la programación del modelado el MBA se aplica cuando hay retroalimentaciones dinámicas, el sistema puede evolucionar, existen componentes autónomos, hay heterogeneidad e interacciones, la toma de decisiones es adaptativa, es decir que depende del contexto.

En un sistema a modelar si no hay retroalimentaciones dinámicas se suelen usar modelos *estadísticos o modelos de ecuaciones para redes bayesianas*. Si un sistema tiene retroalimentaciones dinámicas, pero no evoluciona se suele usar sistemas *dinámicos*. Si tiene retroalimentaciones dinámicas y evoluciona, pero no tiene componentes autónomos se usan *modelos de evolución*. Si hay retroalimentaciones, evoluciona tiene componentes autónomos y hay heterogeneidad e interacciones, pero no se toma decisiones adaptativas se usan *autómatas celulares* y finalmente si hay retroalimentaciones dinámicas, evoluciona hay componentes autónomos, hay heterogeneidad en interacciones y toma de decisiones adaptativas es cuando se usa *la modelación basada en agentes*.

Dicho de una forma más clara en el diagrama siguiente propuesto por (Heckbert, Baynes, & Reeson, 2010) se muestra en la figura 2 cuando es que se usan la modelación basada en agentes.

Figura 2. Cuando se usa la Modelación Basada en Agentes



Fuente: Adaptado de (Heckbert, Baynes, & Reeson, 2010) citado por (Cardoso, Bert, & Podesta, 2015)

¿Qué Roles debe cubrir un Investigador que Aplique la MBA?

Según (Drogoul, Vanbergue, & Meurisse, 2003) existen tres roles en el proceso de modelar un simulación basada en agentes. El experto, el modelador y el ordenador.

El experto que por lo general es un gran conocedor del sistema real bien sea porque es un gran investigador o porque ha dedicado su vida al conocimiento bajo estudio. Es frecuente que el experto no tenga ninguna idea ni sepa nada sobre modelos y simulaciones, por ello es necesario que se le de confianza para detallar las características de los agentes, su extorno, sus retroalimentaciones, sus componentes autónomos, sus interacciones, su evolución, su toma de decisiones adaptativas.

El modelador es un profesional de la computación cuya tarea central es la diseñar, describir, implementar y análisis con modelos formales. El modelador por lo general conoce lenguajes de programación y maneja espectacularmente el software para el MBA. Este dominio es producto de la práctica. Como son raros los cursos sobre estos software, un sabio consejo es estudiar los tutoriales o rezarle a San” You Tube” y estudiar los videos una y mil veces si es necesario.

El ordenador. Es por lo general una computadora y un software que permiten trasladar al lenguaje de la simulación los hechos que han sido tomados de la vida real.

Además del estudio de los tutoriales que suelen traer todos los programas y estudiar ejemplos de programación reportados en la literatura. Reitero la utilidad de consultar videos que almas generosas suben constantemente a You tube¹⁴.

¿Cuál es el Proceso para llevar a cabo una MBA?

El proceso para llevar a cabo una modelación basada en agentes depende del método a usar. Los modelos más robustos tiene 5 fases: Abstracción del problema, Diseño de agentes y Carga al sistema, Análisis de Dinámica e Interpretación.

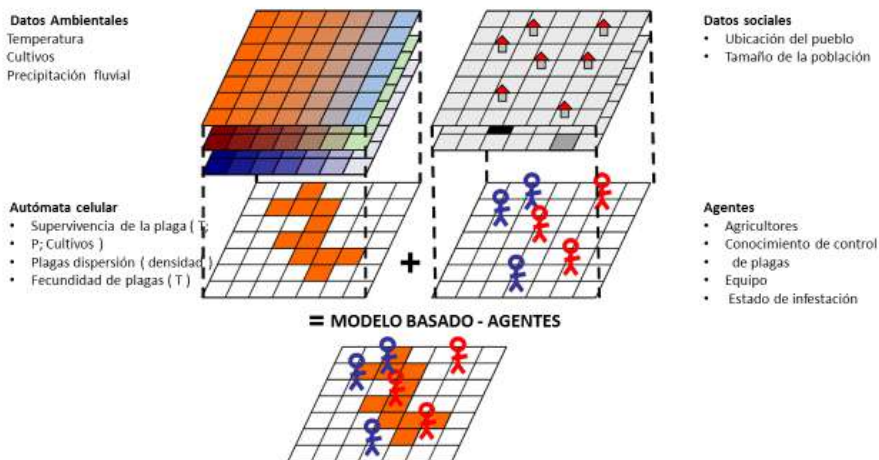
Abstracción: Esta actividad comienza con la observación del sistema que ha sido realizada por el experto el cual tiene datos que caracterizan al sistema. La función del experto es definir los objetivos que se pretende con el modelado, identificar a los elementos del sistema identificando quienes son los agentes y las interacciones entre ellos describiendo la causalidad entre ellas. En esta etapa es común que se dibujen sencillos diagramas conceptuales o de bloques. Aunque es

14. En una revisión realizada el día 27 de julio de 2015 encontré 5 videos didácticos. Ver https://www.youtube.com/results?search_query=modelacion+basada+en+agentes. Una dsegunda revision el 7 de febero de 2019, cuatro años después había 856 videos.

frecuente que la primera versión no suele ser coherente, en versiones más refinadas se debe idéntica con claridad componente, interacción y variables críticas que definen la dinámica y la evolución de los agentes.

En un caso aplicado a estudio de las plagas que afectaban a un grupo de campesinos ecuatorianos se identificaron tres variables: 1) las características del paisaje agrícola obtenida (Indicadores de Biodiversidad para Uso Nacional, Ministerio del Ambiente Ecuador y EcoCiencia 2005), 2) la población de insectos que formaban una plaga, y 3) los grupos de agricultores. La dinámica de plagas y la interacción del paisaje (por ejemplo, el uso del suelo, clima) fue simulada a través de un autómata celular para hacerlo dinámico y con toma de decisiones se incluyó a los campesinos como agentes que actúan individualmente sobre la dinámica de plagas en el paisaje agrícola. La Figura 3 representa el mapa de abstracción de esta primera fase.

Figura 3. Mapa de Abstracción de Agentes



Fuente: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/14/3/7.html>

Diseño y Carga al Sistema. Una vez que ha sido conceptualizado el sistema a modelar por el experto, el modelador debe de analizar el sistema y enfrentarse a dos retos. El primer reto es identificar la velocidad con la que el modelo evoluciona. Esta evolución puede ser lineal, cuadrática, exponencial o seguir una ley de potencia. El segundo reto es descubrir las incoherencias lógicas del modelo conceptual diseñado por el experto (lo que ocurre a menudo) ya que suele ser expresada con palabras y percepciones. Aquí el desafío es trasladar la realidad a un

lenguaje de programación que permita la secuenciación, selección e interacción (Izquierdo, Galan, Santos, & Olmo, 2008).

En el ejemplo de la plaga de los campesinos ecuatorianos las variables identificadas fueron se muestra en el cuadro 3

Cuadro 3. Variables Notación y Unidades caso Boliviano de Plagas

Nombre de la variable	Descripción de la variable	Notación	Unidades
Habitat	Calidad de hábitat de i celular	ni	Meters
Temperatura	Temperatura promedio en 30 años por i celular	Tmoyi	°C
	Temperatura máxima en 30 años por i celular	Tmin i	°C
Precipitación	Cantidad media de precipitación en 30 años por la célula i y por mes j	Tmax	mm
		i Pi;j	
Elevación	Elevación de la zona de estudio per i celular	α i	m
Grado de infestación	Nivel de infestación de los juveniles densidad de especie k por célula i (k = 1, 2, 3; T.	Jk;i	Numero
	Nivel de infestación de los adultos densidad de especie k por célula i (k = 1, 2, 3; T.	Ak;i	Numero
	Nivel de infestación de la densidad de hembras grávidas de la especie k por célula i (k = 1, 2, 3; T	Gk;i	Numero
Distancia	Distancia cubierta por una polilla	d	metros

Fuente: (Rebaudo , Crespo- Perez, Silvan, & Dangles, 2011)

Análisis. Una vez que se ha construido el modelo forma es necesario ejecutarlo generalmente a partir de un software para MBA de los que hablaremos con detalle posteriormente. Los resultados usando distintos softwares deben ser los mismo de otro modo el modelo carecería de confiabilidad.

El análisis por lo general requiere de técnicas estadísticas, el contraste de hipótesis, las aproximaciones del campo medio y las visualizaciones de datos interactivos. (Izquierdo, Galan, Santos, & Olmo, 2008). Por lo general están asociados a los programas de software.

Existe un programa basado en agentes que esta presentado como un juego. Se llama SimPachamama (la madre tierra) en el idioma quechua que hablaban los incas.

A continuación, cito textualmente hago un resumen apresurado de un caso de gran interés que hemos usado en nuestro curso de sistemas complejos.

Después de un cambio de gobierno un campesino boliviano recibe 50 hectáreas de un bosque del amazonas con el que puede hacer lo que quiera. Una acción es cortar los árboles y sembrar maíz, otra cortar los árboles y sembrar pasto para ganado de engorda Pero si decide conservar el bosque recibe ayuda por cada hectárea. El juego supone que un joven alcalde es elegido y puede desarrollar políticas públicas para preservar el bosque. Poniendo impuestos por cada hectárea talada. El Alcalde quiere saber que acción debe tomar para ser reelecto, si mejora la calidad de vida de las personas. Si consigue preservar el bosque podría recibir una ayuda internacional y con ella crear empleos verde en su alcaldía. El pueblo solo tiene 100 familia. La modelación debe medir la felicidad conjunta d el pueblo. Si la gente esta feliz se quedara en el pueblo y este será prospero. Si se toman decisiones equivocadas, la gente emigrara a la ciudad y el pueblo perderá sus bosques. Si el alcalde crea muchos empleos verde el presupuesto que tine se acabara y la gente se acabara marchando, así que debe se cuidadoso para no crear demasiados empleos. (Fenton, 2013).

Este juego se representa en la Figura 4 permite ejemplificar la visualización típica de un MBA.

Figura 4 . El juego de PACHAMAMA



Fuente: (Fenton, 2013)

Interpretación: En esta fase del proceso entra en juego otra vez el experto quien a partir de los resultados realiza las interpretaciones e implicaciones para la realidad que tiene la simulación realizada. En el caso del ejemplo de las plagas y los campesinos ecuatorianos los autores concluyeron que...” *Nuestras simulaciones revelaron los movimientos de agricultores y sus conocimientos de control de plagas impactan significativamente la velocidad de invasión de las plagas y deben ser considerados como variables clave para predecir mejor la dinámica de invasión de plagas en paisajes agrícolas. (...). En vista de la creciente amenaza hecha por las plagas de insectos emergentes de todo el mundo...*” (Rebaudo , Crespo- Perez, Silvan, & Dangles, 2011).

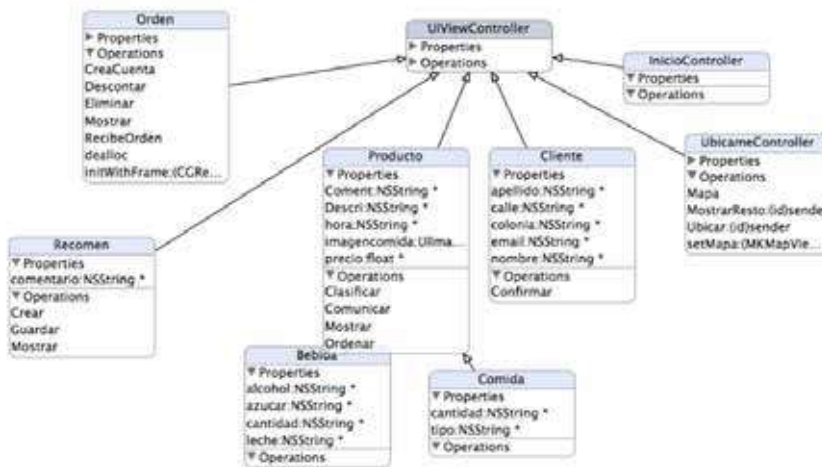
En cualquier modelo es necesario conocer a fondo la problemática ya sea que uno este dirigiendo un taller con expertos involucrados. Es también fundamental tener bien claro quiénes son los agentes a estudiar campesinos, hormigas, vuelos de avión, pedidos comerciales etc.

El espacio en el que actúan los agentes también debe acotarse identificando las variables que determinan su cambio de conducta. Y las variables Exógenas que los hacen actuar en un sentido clima, políticas públicas etc. Finalmente, no hay que olvidar hacer un resumen claro de los procesos y su dinámica en el tiempo

Según (Boosch, Rumbaugh, & Jacobson, 2015). Es útil unos diagramas llamados UML que significa en inglés Unified Modelling Language Útiles para la conceptualización que ayudan mucho en el diseño de la modelación. Hay diagramas de estructura de organización y diagramas de comportamiento.

En la Figura 5 se muestra un ejemplo aplicado a un restaurante propuesto (Martinez, 2011).

Figura 5. Diagrama UML del caso de un restaurante



Fuente: (Martinez D. , 2011)

¿En qué Campos se aplica la MBA?

La MBA se puede aplicar en la Biología y la Sociología. Por ejemplo, en el análisis de la propagación de epidemias, y la amenaza de guerra biológica. En el estudio de las dinámicas de la población, el crecimiento y la decadencia de las civilizaciones antiguas, la evolución del comportamiento etnocéntrico, el desplazamiento forzado / las dinámicas de la migración (Siddigah, y otros, 2009).

En el campo de los negocios destaca el modelado del comportamiento organizacional y la cognición, (Hughes, Clegg, Robinson , & Crowder , 2012) el trabajo en equipo, (CrowderR., Robinson, Hughes, & Sim, 2012) la optimización de la cadena de suministro y la logística, el modelado del comportamiento del consumidor, incluyendo el boca a boca, los efectos de red sociales, computación distribuida, gestión de fuerza de trabajo, y la cartera de gestión. Ellos también se han utilizado para analizar la congestión del tráfico. (Crowder, Robinson, & Sim, 2007)

La inteligencia de enjambres es una variedad relacionada con el análisis de redes biológicas y la MBA y aunque es distinta porque usa algoritmos evolutivos requiere una breve reflexión.

En la actualidad es usada por la Inteligencia artificial, por la robótica y se usa extensivamente como estrategia de organización en grandes corporativos.

La observación de la forma en que se comportan insectos como las hormigas, las termitas o las abejas, parte de la certeza que agente considera poco desarrollados pueden producir inteligencia y obras colectivas aun cuando cada agente realice tareas sencillas guiado por las feromonas del enjambre. En un hormiguero por ejemplo, cada hormiga tiene tareas específicas que sigue sin variar. Cuando hay una contingencia inesperada tal como el ataque de un depredador o una acción climática que destruye, el enjambre se auto organiza ante el evento y lo subsana. En las empresas que realizan de manera operaciones simultanea cientos o miles de operaciones de manera repetitiva en distintos lugares, como las líneas aéreas o empresas que operan en distintos países, se ha observado que aplicar forma de organización que imitan a los enjambre resulta muy funcional.

El concepto inteligencia de enjambre llamado en ingles *swarm intelligence* fue mencionado por primera vez Beni, Hackwood y Wang en el año 1989 buscando aplicaciones de robótica celular. (Bonabeu, Dorigo, & Théralaz, 1999). Este tipo de inteligencia es común en los llamados insectos sociales tales como cardúmenes de peces, manadas de animales, y enjambres de insectos.

Puesto que las organizaciones contemporáneas son metáforas de enjambres de personas que colaboran en un sentido concreto se han desarrollado algoritmos llamados OCH que son las sigla de Optimización de colonias de hormigas que se usan para la programación de sistema de manufactura flexible, asignación de tareas, selección de proveedores, y envío de pedidos por aire mar y tierra. (Toca-Torres, 2014)

En los últimos años se han diseñado programas de cómputo que asignan tareas que dejan feromonas digitales que permiten orientar los trabajos colectivos de los agentes.

Entre los casos de aplicación de la inteligencia de enjambres a problemas organizativos y sociales. Cómo ya hemos mencionados se usan algoritmos OCA para solucionar problemas de rutas de transporte de empresas que manejan miles de tractocamiones así como para diagnosticar accidentes laborales . (Kaur & Goyal, 2011)

Hay también aplicaciones para la distribución de productos en la estantería de supermercado dentro de los que destacan los trabajos de (Zhang X. , 2004)

(Bonebeau & Meyer, 2002) y (Bonabeau & Théralauz, 2008), por su parte han descrito que la actividades de construcción de los nidos de la hormigas y la forma en que agrupan a sus muertos, esto tiene una metáfora con el análisis de los datos de un banco. El estudio de la división del trabajo de las abejas permite optimizar

líneas de ensamble en las fábricas. De hecho, la acción cooperativa conjunta ha sido descrita como una forma de coordinación en proceso de toma de decisiones donde los directivos deben decidir con información imperfecta que requiere la interpretación y autodecisión de los agentes sobre líneas normativa generales (feromonas normativas). La inteligencia de enjambres presenta tres características que la hacen digna de emular: Flexibilidad, Robustez y Autoorganización.

En la administración pública en la época de perverso Secretario de Defensa Donald Rumsfeld se usó un sistema de defensa autoorganizado que usan tanto hormigas como enjambres mediante fuerzas de combate pequeñas, rápidas, con estructura de mando estrechas y flexible (Conley, 2009)

¿Cómo se Valida la Modelación Basada en Agentes?

Existen dos formas de validación de los modelos dependiendo si estas son su enfoque de cobertura es Macro o Micro. En los enfoques Macro destacan (Carley & Grasser, 1999) que proponen: verificación teórica, validación externa y validación entre modelos.

Para los enfoques tipo Micro destaca la propuesta de (Xiang, Kennedy, Maiden, & Cabaniss, 2005) que propone la metodología VOMAS (Systema virtual multi-agente).

¿Qué Softwares Existen para la MBA?

En los últimos años, se han desarrollado en universidades e instituciones privadas distintos softwares para la modelación basada en agentes. En el cuadro 4 y que he elaborado eligiendo aquellos que sean de acceso gratuito. Describo de manera ordenada el nombre del Software las aplicaciones que tiene y la empresa o institución que lo realizo, el tipo de licencia, el lenguaje de programación en el que está construido el sistema operativo que requiere, el soporte para el usuario y la web donde se puede descargar.

Cuadro 4. Software para la Modelación Basada en Agentes

Nombre del software	Aplicación / empresa	Tipo de licencia	Lenguaje de programación	Sistema operativo	Soporte al usuario	web
Brahms	Modelado y la simulación de procesos organizacionales. Universidad de Oxford	Gratuita para propósitos académicos	Usa Java. Y los Agentes interactúan entre sí con facilidad.	Windows; Linux; y Mac OS	Tutoriales y foros de discusión	<p>BRAHMS: Software para la gestión de la historia natural (ox.ac.uk)</p> <p>https://ccl.northeastern.edu/netlogo/download.shtml</p>
Netlogo	Ciencias sociales y naturales Es un software idea para principiantes a iniciar antes de ir a modelos más sofisticados	Hay un versión gratuita y otra de paga	Netlogo	Cualquier computador que tenga java 5 o superior	Tutoriales y foros de discusión	http://education.mit.edu/about-old/download-starlogo-tng/
StarLogoT	Ciencias sociales , Educación y redes descentralizadas MIT Lab	Gratuita Fuente cerrada	Starlogo	Macintosh	Tutoriales y foros de discusión	http://researcher.watson.ibm.com/researcher/view_group.php?id=979
ABLE (Agent Building and Learning Environment)	construcción de agentes inteligentes que utilizan la máquina de aprendizaje y el razonamiento IBM Research	Abierta y gratuita	Able Rule Language (ARL)	Windows; Linux; y Mac	Tutoriales y foros de discusión	http://www.altreva.com/download.htm
Altreva Adaptive Modeler	Previsión precio acciones del mundo real y otros valores ALTREVA Real world forecasts	Versión libre	No requiere conocimientos de programación..	Windows; Linux; y Mac OS	Tutoriales y foros de discusión	

AnyLogic	Dinámica de eventos y sistema discretos y simulaciones Any Logic Multimethod Simulation Software	acceso libre	Java	Windows; Linux; y Mac OS	servicios de consultoría	http://www.anylogic.com/downloads
FLAME	simulaciones con grandes poblaciones de agentes Universidad de Sheffield, Reino Unido.	Versión de acceso libre	Lenguaje C y XML	Lenguaje C - pthreads necesita para funcionar en paralelo.	Tutoriales y foros de discusión	http://www.flame.ac.uk/download/
Insight Maker	Propósitos generales	Acceso libre	Java	Windows; Linux; y Mac OS	Tutoriales y foros de discusión	https://insightmaker.com

Fuente: *Elaboración propia a partir de (Nikolai & Madey, 2008)*

Como los cursos sobre estos softwares son escasos, una sugerencia es que en un equipo de investigación se comisione a un becario a que estudie *los tutoriales* y lea los artículos, los documentos y los ejemplos y luego enseñe a los demás o de plano se convierta en el experto del grupo en ese software.

Luego el becario la hará de maestro con el grupo de investigación y así entre todos se podrá ir explorando y aplicado el software elegido a los problemas que interese al grupo al investigador. Al teclear el nombre del software en los buscadores se suelen también encontrar videos subidos a YouTube que ayudan a familiarizarnos con cada software.

¿Qué Ventajas e Inconvenientes tiene la MBA?

Siguiendo las reflexiones de (Cardoso, Bert, & Podesta, 2015) ..” *La modelación tiene diferentes ventajas que pueden ser resumidas como sigue: Tienen la flexibilidad de analizar problemas con comportamientos complejos, Tiene la capacidad de reproducir fenómenos emergentes complejos. Desde un laboratorio virtual es posible entender y evaluar un sistema complejo. Permite cuantificar formalizar y general información.*

Dentro de las desventajas cabe mencionar la dificultar que existe para la calibración y la validación del modelo. Se requiere de una gran armonía entre el experto y el modelador para identificar con exactitud los múltiples componentes y interacciones de un sistema complejo. No es fácil informar el modelo a actores que grandes diferencias educativas. Hacer un modelo muy complejo y pretender detallar excesivamente todos los aspectos de un sistema perdiendo de vista el principio K.I.S.S. (“Keep it simple, stupid”)...”

Nigel Gilbert. Modelos de Agentes para Ciencias Sociales

Gilbert fue un sociólogo británico de la (Universidad de Surrey pionero en el modelaje en ciencias sociales. Autor de varios libros sobre ciencias sociales computacional, simulación social y la investigación social. Fue editor de la Revista de Sociedades artificiales y simulación Social (JASSS), una de las revistas más importantes sobre sistemas complejos en el mundo.

Con su interesante formación transdisciplina Gilbert estudio ingeniera y luego realizo un doctorado en sociología del conocimiento en Cambridge Inglaterra. Esta formación le ha permitido crear los primeros laboratorios centrados en la

aplicación de las ciencias sociales para el diseño de sistemas basados en el conocimiento inteligentes.

Inicio sus trabajos creando métodos de análisis del discurso. Fue pionero en análisis masivos de encuestas recopilados de la Oficina de Censos Británica, que ahora se ha convertido en algo común en la sociología gracias al trabajo de Gilbert.

Sus trabajo más relevantes están en la simulación social.

En la modelación basada en agentes es donde más ha realizado trabajos empíricos en campo de la complejidad (Gilbert, 2007).

AUTÓMATA CELULAR

Es un sistema dinámico que se describe de manera discreta, es decir por espacios de tiempo. Son útiles para simular sistema naturales y de la realidad de agentes simples que siguen una conducta masiva pero predecible.

Definición

Técnica de predicción de conductas colectivas de agentes simples..

¿Quiénes son los autómatas celulares?

Son agentes simples que siguen reglas simples Aunque tiene sus críticos por lo simple de sus modelaciones, su valor radica precisamente en simplicidad que caracteriza sus modelos.

¿Qué componentes básicos siguen los autómatas celulares?

Según (Muñoz, 1996) la estructura de un Autómata Celular, ...*"tiene seis componentes básicos:*

1. *Un espacio de actuación bidimensional con un número de subespacios homogéneos, llamados celdas.*
2. *Cada celda pertenece a un conjunto finito pero numerable que adopta S estados .*
3. *A cada celda se le asigna una configuración C-*

4. Cada celda tiene un comunidad de vecinos
5. Cada celda tiene una regla de evolución.
6. Cada celda tiene un reloj que define la movilidad y sus cambios de estado .
(Muñoz, 1996)

Un Autómata Celular sólo es válido sí en todas sus celdas tienen el mismo conjunto S de estados posibles, tienen la misma forma de vecindad y comparten la misma regla de evolución.

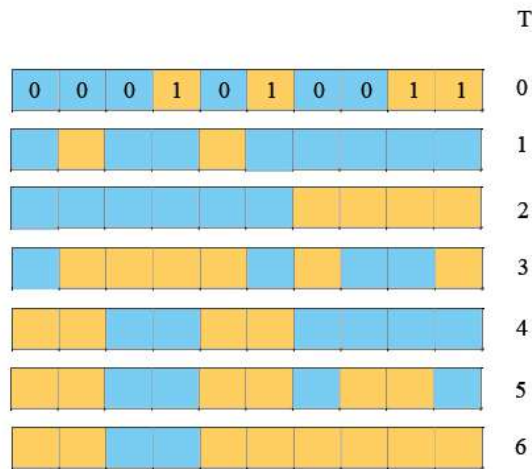
¿Qué tipos de Autómatas Celulares Existen?

Hay tres tipos de autómatas celulares: unidimensionales, bidimensionales y multidimensionales:

Los unidimensionales solo tiene un fila de elementos. En la Figura 6, se ilustran las transiciones de un autómata celular usando en códigos binarios de 0 y 1.

A primera vista los autómatas tiene movimientos muy simples como los de una hormiga o una termita pero de manera conjunta generan patrones inteligentes.

Figura 6. Transiciones de un Autómata Celular Unidimensional



Primeras seis transiciones de un autómata celular unidimensional de 10 células.

Fuente: (Peinado & Garcia, 2008)

Según Wolfram 2015 puede haber Autómatas Celulares unidimensionales, con dos o tres estados, sobre configuraciones periódicas con cuatro patrones de evolución:

...“Clase I. La evolución lleva a una configuración estable y homogénea, es decir, todas las células terminan por llegar al mismo valor.

Clase II. La evolución lleva a un conjunto de estructuras simples que son estables o periódicas.

Clase III. La evolución lleva a un patrón caótico.

Clase IV. La evolución lleva a estructuras aisladas que muestran un comportamiento complejo (es decir, ni completamente caótico, ni completamente ordenado, sino en la línea entre uno y otro, este suele ser el tipo de comportamiento más interesante que un sistema dinámico puede presentar) ...” (Wolfram, 2015)

Autómatas de Dos Dimensiones

Los autómatas celulares de dos dimensiones son los más comunes o. Según von Neumann un autómata celular es un vector de dos dimensiones. (Neuman, 1966).

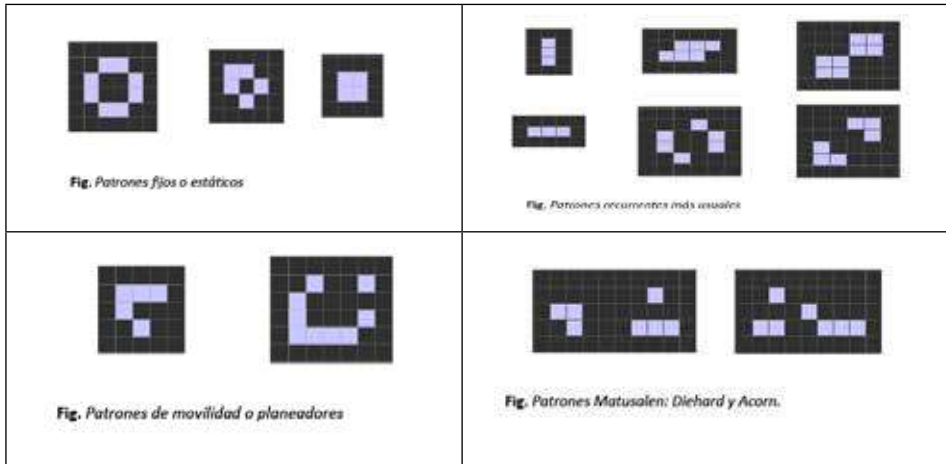
John Conway citado (Gadner, 1970) ... usando autómatas creo un juego llamado el Juego de la vida (Life), Life usando un patrón de células “vivas” o “muertas”. La vecindad para cada célula es ocho.

Cada célula tiene solo tres 3 reglas:

1. *Nacimiento: cada célula debe tener 3 vecinos vivos.*
2. *Muerte: se la célula viva por una muerta si solo tiene 1 vecino vivo (muerte por aislamiento) o si tiene más de 3 vecinos vivos (muerte por sobrepoblación).*
3. *Supervivencia: la célula estar viva si 2 o 3 e sus vecinos están vivos.*

Los autómatas bidimensionales tiene cuatro patrones de conducta estáticos, recurrentes, que varían de una posición a otra indefinidamente; por toda la cuadrícula, matusalenes, que demoran muchos espacios para estabilizarse requiriendo de 130 turnos a 5206 transiciones antes de estabilizarse. Ver la figura 7.

Figura 7. Tipos de Autómatas Bidimensionales

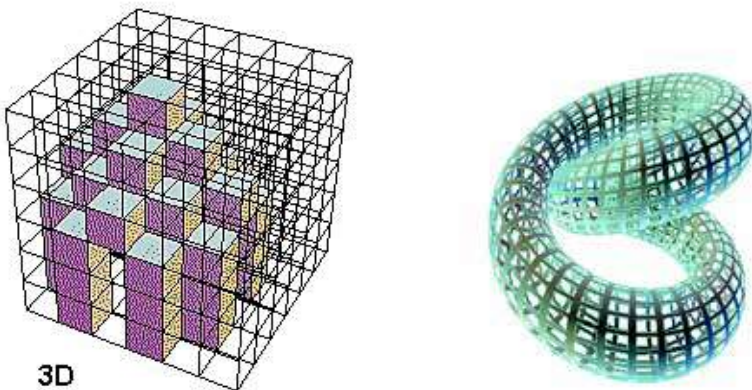


Fuente: (Peinado & Garcia, 2008)

Autómatas Tridimensionales

Son los más espectaculares de los autómatas y su regla de evolución se basa en pequeños espacios tridimensionales. Ver Figura 9. Según (Capirini, 2018) .."Se desarrollan en un espacio de $z \times x \times z$, y pueden seguir una evolución en tres tipos: complejos, caóticos y triviales...."

Figura 9. Ejemplo de Autómatas Tridimensionales



Fuente: (Bernardo, Dos Santos , & Gomes de Castro, 2015) y (Peinado & Garcia, 2008)

¿Cuándo se usan los Autómatas Celulares?

Los autómatas celulares se usan en una gran número de campos son:

Para modelar flujo de tráfico y de peatones en un sistema de transporte colectivos como el metro.

Para modelar los flujos de un poliducto o gasoducto

Para modelizar los patrones de transmisión de un virus VIH o la gripe aviar.

Aunque primera vista para poco aplicable esta técnica nuestra se usa mucha para entender problema de tráfico de vehículos como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Autómata para Tráfico



Fuente https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/pangulo/doc/laboratorio/celulares.html

La figura 10 ilustra un modelo del tráfico desarrollado por la (Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, 2007) ...” Una celda está activa si y sólo si contiene un vehículo. El modelo representa a dos carreteras con una regla con tres colores (negro: 0, gris: 1 y blanco: 2) el modelo requiere de 100 interacciones y una regla de evolución de 1038.”..

¿Roles del investigador que aplique Autómatas Celulares?

Al igual que en el caso de la modelación basada en agentes se distinguen tres roles: El experto, el modelador y el ordenador.

¿Cuál es el proceso para llevar a cabo un Autómata Celular?

El proceso varia según el tipo de autómata que se diseñe, pero se distinguen

- Descripción del modelo
- Reglas del autómata

- Construcción de los diagramas y evolución de fases
- Carga al software
- Simulación
- Análisis e interpretación

¿Dónde se aplica los Autómatas Celulares?

Según (Peinado & Garcia, 2008). Se usan para estudiar comporta neto de personas en una manifestación o en un festival de música, en dermatología se indica los patrones d pigmentación de la piel, en química de reacciones químicas, se usan para simular incendios y su propagación. Estas documentadas aplicaciones artísticas a procesamiento de imágenes y se usan también para la encriptación de datos. ..”

¿Qué softwares existen para Modelar Autómatas Celulares?

Los mejores programas de software según Genaro Juárez¹⁵ uno de los grandes científicos mexicanos experto en el tema son Golly y DDLab los cuales se mencionan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Software de Autómatas Celulares

Software	Organización
Golly	(http://golly.sourceforge.net/)
<i>DDlab</i>	(http://www.ddlab.com/).

Fuente: Elaboración propia

¿Qué ventajas e inconvenientes tiene Autómatas Celulares?

15. Otros software gratuitos recomendados por el Dr. Genaro Juárez aparecen en esta liga: http://www.comunidad.escom.ipn.mx/genaro/Cellular_Automata_Repository/Software.html

Dentro de las ventajas cabe mencionar la claridad y la sencillez de representar sistemas sencillos que tienen normas de conducta claras. Existe una gran disponibilidad de softwares y es un buen mecanismo para introducirse a técnicas de simulación más complejas.

Dentro de sus desventajas está que no es posible representar claramente sistemas con toma de decisiones adaptativas en entornos turbulentos con gran incertidumbre.

AUTÓMATAS CELULARES Y ALGEBRA COMPUTACIONAL (STEPHEN WÓLFRAM)

Es uno de los mayores precursores del estudio de los autómatas celulares. Como algunos de los precursores de los sistemas complejos es sin duda un genio. Escribió su primer artículo científico a los 16 años. Se doctoró a los 20 años por el Instituto Tecnológico de California (Caltech). Siendo becario inventó un sistema computacional antecedente de su programa Mathematica. La pelea por los derechos del programa que desarrolló por parte del CALTECH que quiso quedarse con los derechos, lo hizo romper con su alma mater. Como se enfadó terminó creando el Centro de Investigación de Sistemas Complejos en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton.

Aunque la pugna por los derechos con la universidad donde se graduó podría hacer pensar que se trata de un ser desagradecido o pesetero. Además de ser un genio Wolfram es una persona generosa. Escribió un libro maravilloso y como el de Barabási es de libre acceso. Desde que lo leí en 2016 decidí imitarlos y aunque estoy muy lejos de ellos yo también he hecho pública toda mi obra en Research Gate y Academia. Edu, donde animo a mis lectores a consultar casi mi modesta obra.

En este libro Wólftram decidió usar un estilo de divulgación, escribir en primera persona y tratar de hacer divulgación de sus trabajos. Es posible acceder gratuitamente a él en la liga

<http://www.wolframscience.com/nksonline/toc.html>.

El libro de Wólftram ha sido criticado por no citar apropiadamente y usar un lenguaje coloquial - que a mí me encanta- pero algunos que nos entienden que es un libro no les parece propio de la ciencia. El libro de Wólftram es en realidad una

metodología para modelar sistemas con la ayuda de autómatas celulares y otros sistemas de computación como la máquina de Turing (Wolfram, 2015).

Existen tres grandes precursores en la teoría sobre autómatas celulares. El iniciador Von Neumann, Martin Gardner y el gran Stephen Wólfram.

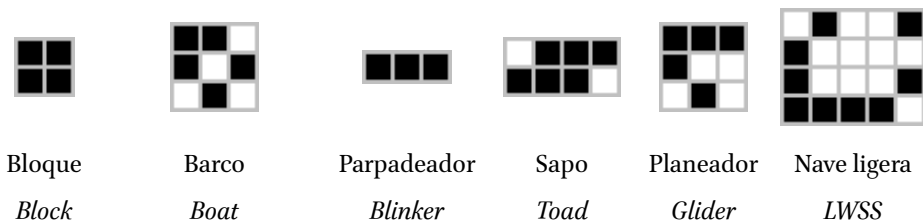
EL JUEGO DE LA VIDA (JOHN CONWAY)

John Conway creo el juego de la vida en 1970. Además invento otros juegos menos conocidos como el de Drago, el Phutball y el cubo Soma.

Este juego, de simple apariencia generó permiti6 comprender patrones de evolución con reglas muy simples. La complejidad la vida supone laguna de las propiedad más importante de un sistema complejo como lo es la emergencia y la auto organización.

El “tablero de juego” es en realidad una malla formada por cuadrados a los que se les llama “células” y cuyo funcionamiento ya hemos explicado sucientemente.y se ilustra en la figura 11,

Figura 11. Ejemplo de Formación de Patrones



Fuente: (wikipedia, 2015)

Sus libros *On numbers and games* y *Winning Ways for your Mathematical Plays* fueorn muy populares (Coway, 1976).

ALGORITMOS GENÉTICOS (JOHN HOLLAND)

A John H. Holland se le considera el creador de *algoritmo genético*. Dotado de una formación transdisciplinaria que como ya hemos visto a estas alturas del libro es coincidente con la de otros precursores. Formado en la Universidad de Michi-

gan Es Filósofo, , Ingeniería Eléctrica y Computación y fue uno d ellos fundadores del Instituto Santa Fe.

En la historia de los sistemas complejos, el *concepto algoritmo* es muy relevante.

La palabra ha traspasado el campo de ciencia y se usa extensivamente en los medios masivos de comunicación.

Un algoritmo es un conjunto de acciones secuenciadas para solucionar un problema.

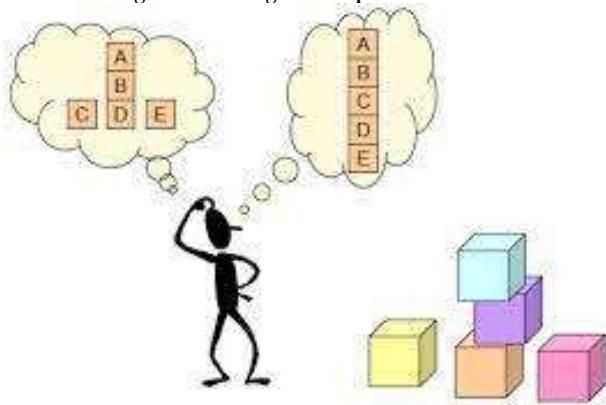
Proviene del latín “algorithmus” El primero en usarla fue el matemático persa Al-Juarismi. Antes de la explosión de las redes sociales los algoritmos solo se usaban en las matemáticas y la computación. En la actualidad se usa extensivamente en la administración recursos humanos se usa para seleccionar a los mejores candidatos con mucho grado de éxito. Netflix utiliza un algoritmo para sugerir películas y series en función de las películas y series que ha visto un suscriptor, aumentando con ellos su grado de satisfacción.

Whatsup usa un algoritmos para proponer palabras en función de las más usadas que utilizan sus usuarios y sugiérela en su corrector.

Un algoritmo es una secuencia que parte de un estado inicial y fases sucesivas, no siempre lógicas para llegar a un estado final donde ele proceso termina . Un ejemplo cotidiano es un manual de instalación de un producto, o las ordenes que recibe un empleado por parte de su jefe.

La Figura 12, ilustra dos maneras de ordenar un “Algoritmo” muy simple al ordenar unos cubos.

Figura 12 Dos Algoritmos para un Problema



Fuente: poritem.wordpress.com

Definición de Algoritmo Genético

Es un proceso selectivo de evolución mediante mutaciones y recombinaciones genéticas. Selecciona solo a los individuos más aptos para adaptarse al nuevo entorno.

Los algoritmos genéticos están asociadas a genes que tienen un fenotipo. Puesto que la inspiración del algoritmos es la Genética, sus conceptos están asociados a genes, cromosomas y generaciones.

Existen dos formas de representar los cromosomas. Si forman parte de cadena binaria se les llama *genotipo*. La forma de evolución de los cromosomas es mediante iteraciones, que se llaman generaciones. Cada generación, se evalúa con un criterio de aptitud. Si el cromosoma no es apto se desecha sin contemplaciones. (Holland, 1975).

Dicho de una manera simple un algoritmo genético es capaz de encontrar la mejor solución posible, cómo dicen los españoles la mas parsimoniosa.

¿Cómo Evolucionan los Algoritmos Genéticos?

La disciplina que estudia los algoritmos genético es la computación *evolutiva que combina* los conocimientos de biólogos con la evolución al encontrar una generación óptima, mediante programación evolutiva.

Según (García-Piñero, 2008) fue Rechenberg quién, en la década de 1960 introdujo el concepto de “estrategias evolutivas”, para optimizar ciertos dispositivos. Pero dicho *concepto fue desarrollado por Schwefel en 1975 y 1977. Fogel, Owens y Walsh (1966), crearon la “programación evolutiva”.* (...)

Holland se inspiró en el trabajo del biólogo Fisher allá por la década de 1960 después de la lectura del libro *teoría genética de la selección natural*, donde Fisher postula que a evolución es resultado del aprendizaje lo cual lo inspiraría en generar los primeros programa de computación evolucionista.

Según (Gil, 2006) *..” El mérito de los algoritmos genéricos correspondió en parte a un estudiante de Holland llamado Goldberg que tuvo la audacia de aplicar los algoritmos genéticos a problemas industriales, y aunque Holland se opuso inicialmente se acabó rindiendo ante la evidencia. Goldenberg rsumiria sus experiencias en un libro llamado Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning ...”.* (Goldenberg, 1989).

¿Qué Principios Siguen los Algoritmos Genéticos?

Como ya se ha mencionado los algoritmos genéticos son un método para resolver problemas complejos con grandes dimensiones.

A diferencia de otras metodologías de sistemas complejos, los algoritmos genéticos codifican parámetros que permiten una gran versatilidad. A diferencia de otras técnicas de simulación que hemos visto en este capítulo los algoritmos genéticos no son imprescindibles los roles de experto y el programador ya que no se requiere conocimientos específicos sobre el problema a resolver.

¿Cuántos Tipos de Algoritmos Genéticos Existen?

Existen dos tipos: los algoritmos genéticos simples y los algoritmos genéticos paralelos

Según (Gil, 2006).” *Los algoritmos simples se representan en forma binaria sin embargo es incapaz de identificar las características de las soluciones. Hay tres tipos básicos de representaciones:*

Representación binaria: Cada gen es un valor 1 ó 0. Ejemplo 1 0 1 1 0 1

Representación entera: Cada gen es un valor entero. Ejemplo 611 - 612

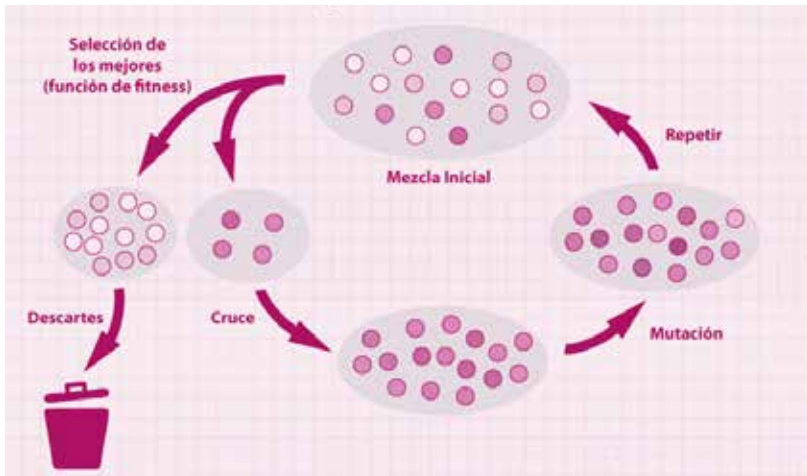
Representación real: Cada gen es un valor real. Ejemplo: 4.5 , 6.2. 7.9

Un tamaño de población comprendida entre 1 y 21 es suficiente para comprender problemas típicos. En algoritmos simples se requiere definir las siguientes variables: población inicial, la función objetivo, la coeducación utilizada, el operador de selección.

(...) “Los algoritmos genéticos son capaces de realizar distintos procesos a la vez y suelen usar tres operadores: selección, cruce y mutación.

Selección: Se elige los cromosomas de la población que se va a reproducir. Al igual que pasa con los sementales de Toro, entre se mas capaz de reproducirse más veces será elegido. Cruce: se unen dos cromosomas, para crear nueva descendencia. Mutación: el cromosoma inicial presenta variaciones de modo aleatorio lo cual supone una evolución Ver Figura 13.

Figura 13. Algoritmo Genético



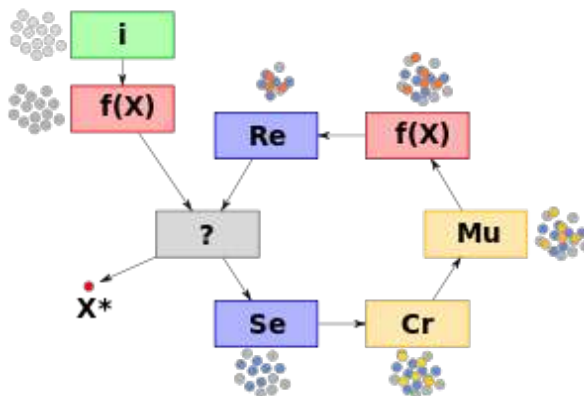
Fuente: <http://www.indieorama.com/wp-content/uploads/2014/08/AlgoritmosGeneticos.jpg>

¿Cuál es el Proceso para aplicar un Algoritmo Genético?

Si bien hay variedades según los autores hay 5 fases: Inicio, selección de cromosomas más aptos de acuerdo al contexto, criterio de termino, cruzamiento, mutación y hallazgo de la mejor solución.

La Figura 14, ilustra la propuesta de Holland que indica también un descarte de cromosomas y esta más apegada a criterios científicos.

Figura 14. Secuencia y Evolución de un Algoritmo Genético



Fuente: Holland. *Evolutionary_algorithm.svg*

En la Figura 14 se ilustra como un algoritmo genético inicia (i) se realiza la primera evaluación llamada genéricamente como $f(X)$ y se decide la condición de término, (Se): selección, el algoritmo realiza el primer cruzamiento (CR) y se realiza la primera mutación (Mu), en función de ello se decide el remplazo de un agente que no coopera (Re) y se arriba por tanto a la X^* : mejor solución.

¿Dónde se aplica los Algoritmos Genéticos?

Según (Gil, 2006) y (Goldberg, 1989). Las aplicaciones de los algoritmos genéticos se han enfocado a solucionar problemas de optimización de recursos. Se usan en Economía, en Ecología, en Inmunología, para ver arboles filogenéticos, para optimizar sistemas de carga y distribución de agua, en sistema de aprendizaje de robots, el diseño de sistemas de distribución de electricidad y gestión de residuos sólidos. En sistema de llenado de contenedores. En optimización de sistemas de telefonía celular, Diseño de nuevos materiales.

¿Qué Software existen para Algoritmos Genéticos?

En el cuadro 6, se menciona software para procesar y analizar algoritmos genéticos

Cuadro 6. Tipos de Softwares para Algoritmos Genéticos

Software	Tipo de licencia	Aplicaciones y tipos de análisis	lenguaje de programación	Sistema operativo	web
Desktop Genetic Algorithms v.PreAlpha	Libre	Permite aplicaciones universals	Java	Windows2000, WinXP, Windows2003	geneticalgo.sourceforge.net
GA7 Stock Forecaster 1.0.145	libre	Permite la recopilación automática y la predicción El software se actualiza frecuentemente	Java	Windows2000, WinXP, Windows2003	http://www.winsite.com/
JGAP	libre	Permite resolver programs sofisticados	Java	Windows2000, WinXP, Windows2003	http://jgap.sourceforge.net/
Galileo: a Distributed Genetic Algorithm v.1.0	Libre	Para aplicaciones científicas	Python	Windows2000, WinXP, Windows2003	galileo.sourceforge.net
Java API	Libre	Para aplicaciones universales Incluye tutoriales y ejemplos	Python	Windows2000, WinXP, Windows2003	j-a-g-a.sourceforge.net

Fuente: Elaboración propia.

¿Qué Ventajas e Inconvenientes tiene los Algoritmos Genéticos?

Su principal ventaja es que no se requiere ser un gran experto en los problemas estudiados. Sin embargo como existen varias soluciones su elección si requiere juicio experto ya que frecuente que el software ofrezca falsas soluciones.

Dentro de sus desventajas cabe señalar las siguientes: el planteamiento del problema debe ser capaz de soportar cambios aleatorios.

La convergencia de la solución optima puede tardar muchas generaciones.

Si un “cromosoma” es muy apto la solución converge rápidamente eliminando la diversidad de otros candidatos más resilientes. (Arranz de la Peña & Parra-Truyol, 2007)

Aunque es una técnica robusta no se garantiza que el Algoritmo Genético encuentre la solución óptima del problema.

MODELOS MULTI AGENTE

Definición

Es un sistema compuesto por distintos agentes los cuales tiene una voluntad e inteligencia propia inteligentes que interactúan entre ellos en un entorno complejo.

¿Quiénes son los Multi agentes?

Son entidades que actúan de acuerdo a la información que tienen y se comunican en redes complejas. Su actuar conjunto genera un nuevo comportamiento colectivo que no se podría explicar a través de la conducta de cada agente de manera individual.

¿Qué Principios siguen los Multi agentes?

Según (Wooldridge, 2002): *son básicamente tres principios: Debe ser autónomos y capaces de decir por sí mismos*

Autonomía: los agentes deben ser parcialmente autónomos, es decir, deben ser capaces de tomar decisiones propias. Con visión solo local para no influir en el comportamiento colectivo, y don control global.

Adicionalmente según (Romero, 2009) los multivalentes deben tener Movilidad en una red electrónica, Veracidad ya que deben comunicar información verdadera. Objetivos constructivos, Inteligencia, Racionalidad, Coherencia y Adaptabilidad.

¿Cuántos tipos de Modelación Multi-Agentes existen?

Existen dos tipos de modelación de sistemas multi-agentes:

La formal. Que otorga a la mayor cantidad posible de información e inteligencia dotándolos de la mayor capacidad posible para tomar decisiones.

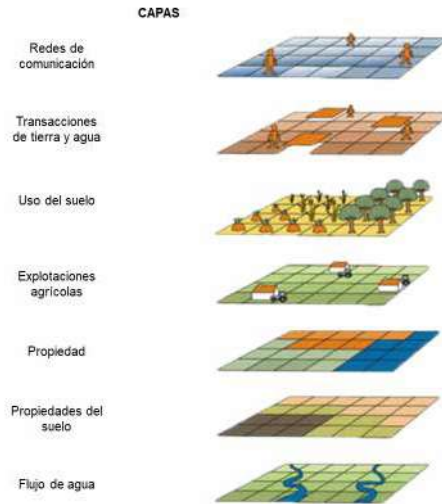
El constructivista. Que otorga la mayor cantidad de información *a todos los agentes*, para que capaces de producir un comportamiento emergente.

(Romero, 2009) por su parte menciona tres tipos: 1) *Basadas en creencias, deseos e intenciones (Beliefs, Desires and Intentions, BDI)*. 2) *Reactivas* con sensores e 3) *Híbridas*.

¿En qué casos se usan la Modelación Multi - Agente?

- Según (Ferber, 1999) se puede usar en los siguientes tipos de problemas:
- Estrategias de cooperación y coordinación
- Problemas de organización y comunicación
- Estrategias de negociación y solución de problemas
- Análisis de redes científicas
- Estudios sobre creencias, deseos e intenciones (BDI)
- Simulación comportamientos humanos y animales

Figura 15. Ejemplo de Niveles en un Modelo Multi-agente



Fuente: <http://www.igm.uni-hohenheim.de/cms/uploads/pics/Spatial.jpg>

¿Cuál es el proceso para llevar a cabo una modelación Multi- agente?

Según (Caparrini, 2013). *."Es un proceso cíclico de cinco pasos:*

1. *Se define el plano de actuación de los agentes.*
2. *Se define la relación de dependencia.*
3. *Integración de agentes.*
4. *Se definen reglas de comportamiento individual.*
5. *Se Identificación los procesos emergentes generados con la interacción colectiva*

¿Qué software existen para modelación Multi- agente ?

Dentro del software orientado a agentes destacan los siguientes:

Cuadro 7. Software para Multi agentes

Software	Organización /autores
GAIA	Universidad de Southampton /Michael Wooldridge y Nick Jennings
ADELFIÉ	Universidad de Toulouse / grupo IRIT
INGENIAS	Universidad Complutense de Madrid
Mas-Common KADS	Universidad Politécnica de Madrid
Netlogo	Norte Wester University

¿Qué ventajas e Inconvenientes tiene la Modelación Multi- agente?

Según (Romero, 2009) dentro de las *ventajas* cabe mencionar las siguientes:

Son metodologías amigables flexibles y robustas que se adaptan fácilmente a cualquier usuario. Tienen un aceptable de mantenimiento y es muy flexible ya que el enfoque se puede cambiar fácilmente a nuevos agentes, nuevos conocimientos nuevos comportamientos. Asimismo permite la integración de otras tecnologías tales como Web, *Business development service* (BDs), Simplifica la labor de los ingenieros usando patrones de agente para definir el comportamiento de los agentes.

Dentro de las desventajas destacan las siguientes:

La descomposición del problema no siempre es fácil de concebir

La comunicación entre agentes es deficiente

No existe coherencia en las actuaciones de los agentes

El conocimiento de los agentes no es fácil de representar

Los agentes no tienen una coordinación de acciones

LA WEB SEMÁNTICA: TIM BERNERS LEE

La idea inicial de crear enlaces de hipertexto en la web la concibió por un profesor del MIT llamado Vanner Bush a fines de segunda guerra mundial, cuando describió el concepto de memoria extendida en un artículo llamado “ Como Podríamos Pensar” donde propuso crear senderos de la información para imitar a la

manera en que funciona el cerebro, lo cual hace mediante la asociación de pensamientos que navegan en los millones de neuronas de nuestro cerebro. Sostenía Bush tiene memoria transitoria y fugaz (Bush, 1945).

Bush visualizo en su mente un sistema que pudiera proporcionar información accesible en un formato universal que integrar archivos de texto e imagen que pudieran ser consultarse con enlaces.

Su proyecto MeMex (Memoria Extendida) fue el origen del concepto de *hipertexto*. Este concepto ya había sido propuesto por Tehodor Nelson en los años 60's .

Un hipertexto es una escritura no secuencial de bloques de texto que permite la navegación de un texto a otro. El primer software capaz de implementar referencias cruzadas fue desarrollado en la universidad de Stanford por Douglas Engelbart, y surgieron otros sistemas de hipertexto, hasta que el año 1990 cuando Barnes y Cailliau presentaron el proyecto *World Wide Web* en la Organización Europea de Investigación Nuclear proponiendo el sistema HTML (Hyper Text Markp Language) junto al protocolo de transferencia de hipertextos HTTP (Hiper Text Transfer Protocol) y el identificador de recursos digitales URI (Uniform Resource Identifier) que disfrutamos todos lo que navegamos en la Web.

La creación del navegador y editor World Wide Web es el protocolo que nos permite seguir los archivos HTTP y es un elemento central de nuestra sociedad de la Información

Con estos antecedentes Tim Berners – Lee propone *la Web Semántica* donde describía una falta de estructuración de contenidos y descripciones normalizadas para los recursos digitales, que producían resultados ambiguos en los buscadores de datos. (Berners-Lee, 2000) ,

La Web Semántica tiene dos pilares: La descripción de significado y la gestión automática de descriptores con motores lógicos de inferencia basados en la semántica en metadatos y en ontología¹⁶ .

La red semántica es el resultado del conocimiento acumulado de muchos científicos y organizaciones pero Tim Berners Lee fue el principal contribuyente.

16. Es una jerarquía de conceptos y relaciones, que usan redes semánticas para relacionar la información basadas reglas protocolarias.

Son 4 las generaciones de la web 1.0, la Web 2.0 y la Web 3.0 y la Web 4.0 que es un conjunto de tecnologías usadas en las redes sociales, publicación de datos, realización de inferencias y marcado semántico de documentos.

La web 4.0 es la que esta basada en la inteligencia artificial y se distingue por la capacidad de los usuarios a dar comandos de voz e interactuar con asistentes digitales, que tiene una bella voz femenina y se llaman Siri o Alexa.

Katya Sycara por su parte es otra precursora destacada ya que con su propuesta de lenguaje OWL-S, para la Web Semántica. Es posible publicar datos que pueden leer las maquinas, sin la intervención de humanos. Los documentos en HTML y XML que permiten describir los datos además de facilitar que gestores de contenidos interpreten los documentos y realicen procesos inteligentes de captura y tratamiento de información. (Pastor, 2011).

En la revista Investigación Administrativa que hemos dirigido desde hace 25 años en la ESCA Santo Tomas del Instituto Politecnico Nacional valorada como Q1 Competencia internacional en el Sistema CONACYT los artículos se presentan para su lectura no solo en pdf, sino en XML de Scielo y en e Pub para que se puedan leer adecuadamente en los sistema de Apple. Esta acción maximiza la difusión de los contenido

Principales componentes de la Web Semántica

La red semántica se presenta en distintos protocolos de diagramación destacando el XML, XML Schema, el RDF Schema entre otros,

El programa desarrollado por Katia Sycara llamado OWL (Web Ontology Language Overview) clarifica los componentes de la Web Semántica que se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Componentes de la Web Semántica

Componente	Aportación
XML	Permite tener documentos estructurados con una sintaxis que no altera su u significado
XML Schema	Lenguaje para definir documentos XML.
RDF	Semántica básica para poder usar XML.

RDF Schema	Vocabulario que crea jerarquías para la generalización
OWL	Lenguaje de definiciones ontologías para propiedades y clases
SPARQL	Lenguaje de conjuntos de datos RDF.

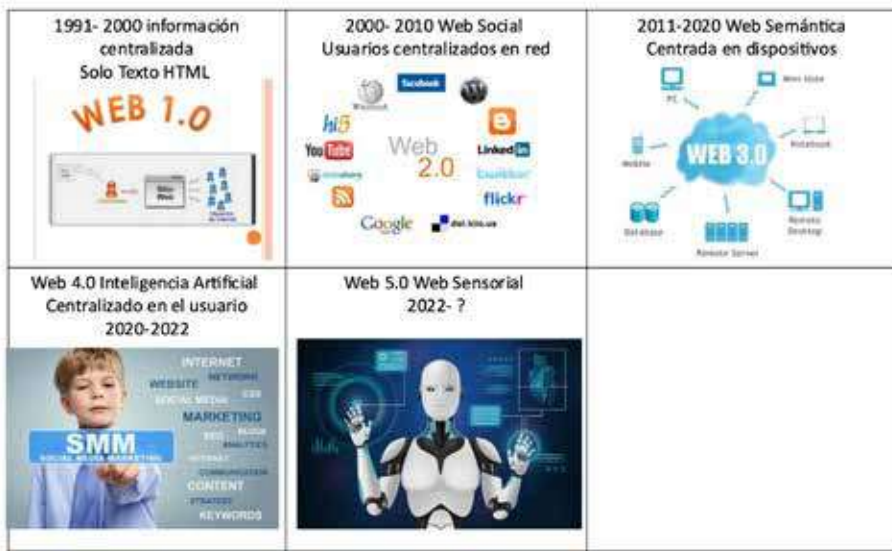
Fuente: (Sánchez, 2011)

La figura 16 resume las cinco evoluciones de la web desde sus orígenes la web 1.0 donde solo se podía leer información, la web 2.0 que ha detonado las redes sociales y multiplicado las interacciones de los seres humanos con aplicaciones maravillosas como Facebook, Whats up, You Tube, Research Gate y LinkedIn. Esto ha acercado a los seres humanos y nos ha permitido luchar con la soledad. la web 3.0 que permite compartir contextos, significados conceptos y conocimiento que es lo que ha permitido impulsar la ciencia y compartirla de manera abierta como nunca antes. En estos proyecto quisiera destacar dos casos que han contribuido a la ciencia y que son latinoamericanos. Me refiero a Redalyc, la red de revistas científicas de América Latina y el Caribe con sede en la Universidad Autónoma del Estado de México y Scielo un proyecto de creación de revistas latinoamericanas iniciadas en Brasil que en México tiene albergue en la UNAM con su estupenda Dirección de Publicaciones.

La web 4.0 centralizada en las necesidades y deseo del usuario hace uso de la inteligencia artificial tanto en teléfonos inteligentes como en dispositivos de casa y oficina. Los aparatos del hogar reciben ordenes, para agendar cita, llamar a alguien, dar lectura a mensajes, enviar un disculpa, buscar un restaurante o la estación de gasolina más cercana. Invariablemente contesta una linda chica que siempre está de buenas y encantada de ayudar con nombres como Siri y Alexa. Que incluso puede poner música de algún tipo o bajar la intensidad de la luz para ponernos en modo romántico.

La web 5.0 sobre la que ya se especula usará algún tipo ordenadores y asistentes que serán capaz de captar nuestro estado de ánimo y recordar si estamos tristes o necesitamos apoyo emocional.

Figura 16. La Evolución de la Web



Fuente: Elaboración propia

El desarrollo de la web semántica ha topado con el gran problema que supone la conversión del lenguaje HMLT a XML lo cual hay que hacer “a mano”. Yo soy editor de una revista científica y al abandonar el papel y hacer nuestra revista digital buscando una mayor divulgación tuve que aprender a marcar los artículos en XML con la metodología de Scielo, uno a uno. Este trabajo requiere un abnegado proceso que puede durar unas cuatro horas por artículo de 20 páginas. Afortunadamente este sacrificio nos permitió darle una gran divulgación a los artículos que publicamos en Investigación Administrativa y que invito a mis lectores a conocer ya que es la única revista de mi universidad el IPN, que está clasificada como Q1 competencia internacional por el CONACYT de México. Esta acción ha sido premiada por diversos repositorios como DOAJ y RedIB y Redalyc y ha multiplicado la exposición internacional de nuestra revista. Le sugiero consultarla gratuitamente es esta liga: <http://www.sepi.escasto.ipn.mx/Revista/Paginas/Inicio.aspx>

SISTEMAS COMPLEJOS APLICADOS A LAS CIENCIAS SOCIALES

Uno de los principales problemas de las ciencias sociales es su amplitud y su diversidad temática. No es fácil definir qué son y que comprende las Ciencias Sociales, llamadas por algunos de manera peyorativa como ciencias blandas. La de-

finición de cuáles son las ciencias que se ocupa del social varia de un país a otro. Las taxonomías se dividen en función de su campo de aplicación o de su campo reflexivo. Existen ciencias que estudian la interacción social, como son la antropología, la sociología, la historia, el derecho, la demografía, y la economía. Ciencias que estudian la cognición humana como son la literatura, la psicología, la sociología evolutiva y la lingüística. Ciencias que estudian la evolución social como la Arqueología, la demografía, la ciencia política y la ecología humana. Existen otras ciencias sociales aplicadas, como la administración privada y pública, los negocios, la contabilidad, la economía, y finanzas que tienen un componente de ciencia básica también muy sólido ya que la inclusión de técnicas de predicción, y evaluación cada vez más sofisticadas

Según la agencia mexicana de ciencia el CONACYT, la lingüística, la literatura, la antropología, la arqueología y la educación son ciencias humanísticas. En cambio, el derecho, la sociológica, la administración de negocios, la económica, la ciencia política, la historia y la administración pública se consideran Ciencias Sociales.

Los sistemas complejos aplicados a las Ciencias Sociales son una verdadera novedad en muchas Universidades Iberoamericanas. En el mundo anglosajón existe una mayor evolución ya que los desarrollos se pueden rastrear desde la década a de los años 40 y 50 del siglo pasado.

Existen ciertos aspectos epistemológicos que se erigen como barreras de la adopción de modelos para explicar la interacción social usando las técnicas de sistemas complejos que hemos descrito hasta el momento en este libro.

En el campo de las Ciencias Sociales tradicionalmente han imperado los enfoques históricos comparados, los meta análisis y los estudios diacrónicos que permiten evaluar cómo se han desarrollado y evolucionado las ideas en un campo del conocimiento.

A nivel general en la ciencia existen dos grandes enfoques metodológicos que son el método deductivo y el método inductivo muy usado en las ciencias naturales.

En ambos enfoques el objetivo central es explicar y/o predecir.

Para los diseños explicativos se hace uso de formulaciones matemáticas sustentados en ecuaciones diferenciales.

Para los diseños estadísticos que miden variables se usan instrumentos estadísticos como SPSS o incluso Excel, y recientemente los sistemas de ecuaciones

de regresión o estructurales usando software cada día más amigables como son Lisrel y Amos.

Tanto la explicación como la predicción son dos objetivos epistemológicos de todo quehacer científico pero son claramente diferentes. Como mencionan (García-Valdecasas, 2014) se puede predecir un fenómeno sin explicar nada de lo que está ocurriendo y se puede explicar un fenómeno sin ser capaz de predecirlo.

Los diseños explicativos como se menciona en Rivas-Tovar (2021), son los más rigurosos en la ciencia y se distinguen tres tipos explicaciones: 1) Las explicaciones sustentadas en leyes características del positivismo lógico y las ciencias “duras”, las explicaciones sustentadas en variables que son resultado de modelos estadísticos y las sustentadas en métodos de medición causales (García-Valdecasas, 2014).

En este contexto es que debemos ubicar epistemológicamente a los modelos basados en agentes en las Ciencias Sociales donde se presenta como una técnica alternativa, una tercera vía que permite no solo predecir y explicar sino donde es posible experimentar como en un laboratorio con distintos escenarios.

Estos experimentos *virtuales* que se diseñan desde los software que veremos en este apartado crean sociedades artificiales distintas a los experimentos de laboratorio (*in vitro*) o a los sistemas de experimentación con seres vivos tales como ratas o animales (*in vivo*) a la simulación computacional que le llaman (*in silicio*). Y las sociedades artificiales que recrean “laboratorios de prácticas” que pueden ser configurados con rapidez y ejecutados un gran número de veces hasta obtener las soluciones más aceptables a los grupos de interés (Rodríguez-Zoya & Roggero, 2014).

En este apartado por tanto describiremos cuatro métodos: el método SCAT propuesto por Castellani y Haferty,

1) Método SCAT Análisis de Sistemas Complejos en Ciencias Sociales

Son creadores del método para el estudio de la complejidad social, SCAT. Este método permite descubrir, reunir y analizar diversos fenómenos sociales como sistemas sociales complejos. Es un método de uso general: y puede integrar diferentes tipos de datos y técnicas de análisis de datos cualitativo.

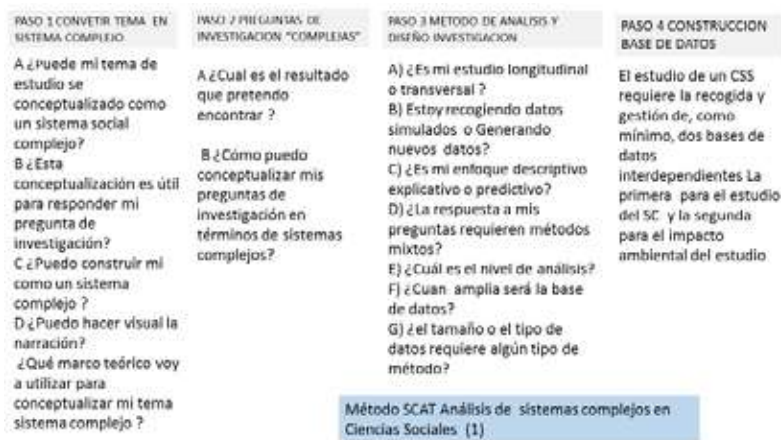
El método SCAT es relevante porque las metodologías sobre sistemas complejos están dominadas por los enfoques computacionales que demandan evidencia proveniente de modelado dinámico basado en agentes.

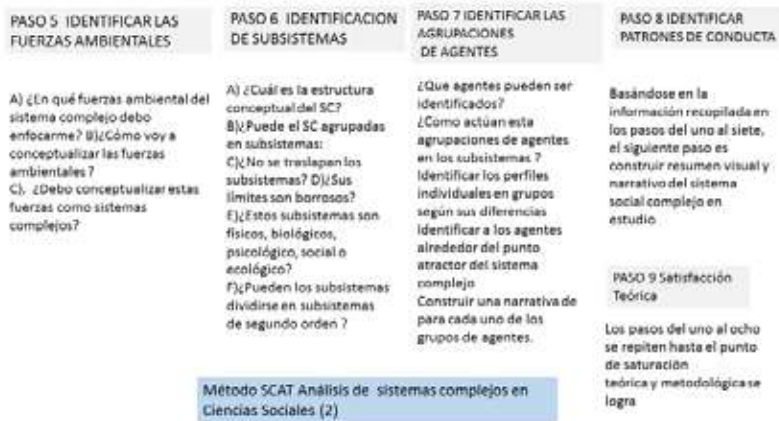
El trabajo de Casetllani y Haferty se ha concentrado en la integración de cómputo con método cualitativo y el método histórico.

El método SCAT se considera un método mixto ya que combina varios tipos de investigación. Tanto en las ciencias sociales y la sociología están dedicando su atención al desarrollo de cualitativo, histórico y de métodos mixtos. Dentro de estos nuevos enfoques destacan: el estudio de los organismos humanos complejos, etnografía en el modelado computacional, el enfoque cualitativo de la lógica difusa. Según (Castellani & Castellani , 2003). ...*"El método SCAT tiene nueve fases que son las siguientes: 1) Conceptualizar el tema de estudio como sistema complejo, 2) Crear la base de datos del estudio, 3) Formular las preguntas de investigación en términos de sistemas complejos, 4) Gestión de la base de datos del estudio, 5) Situar los sistemas complejos estudiados en un campo de relaciones, 6) Identificación de subsistemas del sistema complejo, 7) Identificación de los grupos de agentes, 8) Identificación de patrones de conducta, 9) Repetir los pasos anteriores hasta que se consiga comprender los patrones de sistema complejo..."*

Este método puede ser resumido en dos fases que se muestra en la Figura 16

Figura 16. Método SCAT para Ciencias Sociales





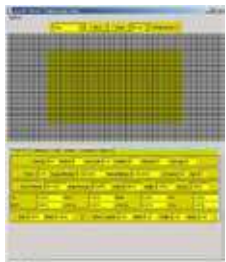



Fuente: *Elaboración propia a partir de* (Castellani & Hafferty, 2015)

El método SCAT se validó estudiando a médicos y propone una rejilla de clasifica de tipos de conductas de los médicos que van desde el Autónoma altruista a la eminentemente comercial. El método sin embargo resulta de interés para sr aplicado a cualquier sistema social que desee ser caracterizado como un sistema complejo.

2) Modelaje de Agentes a Gran Escala (Joshua Epstein)

(Epstein J. , 2002) propuso un modelado avanzado de sistemas complejos en ciencias sociales, y creo un programa llamado Sugarscape ---“ *que tiene 4 elementos: los agentes (habitantes), el entorno (una cuadrícula de dos dimensiones) y las normas que rigen la interacción de los agentes con los demás y el medio ambiente. El modelo original Epstein y Axtell mide 51x51 cuadrículas, donde cada celda puede contener diferentes cantidades de azúcar. Los agentes miran a su alrededor, deben encontrar la celda más cercana llena de azúcar, mover y metabolizar. Pueden morir, reproducir, transferir información, pedir prestada azúcar, generar inmunidad o transmitir enfermedades El azúcar en la simulación es una metáfora de los recursos en un mundo artificial a través se puede estudiar los efectos de la dinámica social, tales como la evolución, el estado civil y la herencia en las poblaciones..”* (Growing artificial societies, 2015). En la figura 17 se presenta la simulación de *Sugarscape*.

Figura 17. La Simulación de Sugarscape

			
<p>Es la primera pantalla El programa tiene 3 secciones que se han marcado en amarillo. En la parte superior esta la “Barra de control”. Con ella se selecciona un juego de Sugarscape.</p>	<p>las células gris, estan vacías. Las gris oscuro unidos ilustran el azúcar (a la izquierda) y especias (a la derecha). Los huecos ilustran metabolismo lento y son ciudadanos que necesitan menos recursos para vivir</p>	<p>La barra de control muestra los periodos pasados y la población actual. La población es una mezcla saludable de los adultos (de colores), niños (blancos) y adultos mayores (negro). El panel refleja la distribución de los distintos grupos en la Sugarscape.</p>	<p>Se ilustra que población está en mitad superior La región de invierno está desierta, por la migración y, los ciudadanos que mueren por inanición.</p>

Fuente: (Growing artificial societies, 2015)

El Modelo de Schelling

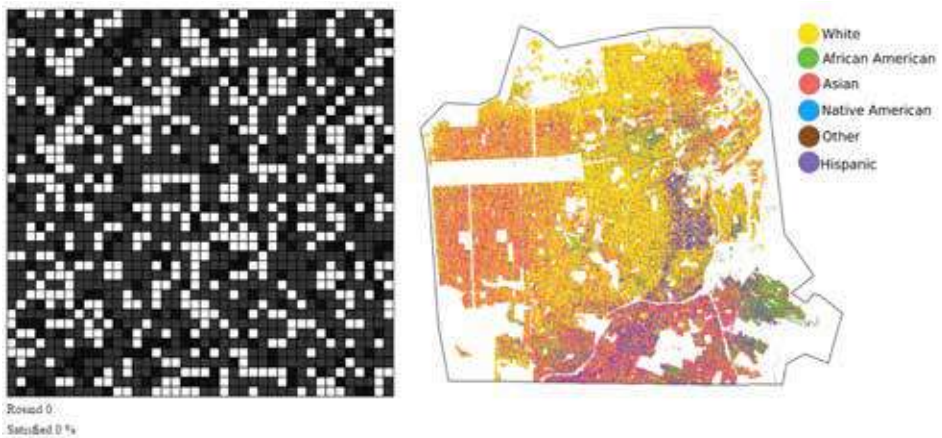
Schelling, fue un sociólogo americano que propuso un modelo para estudiar un problema que era muy importante en su país que era la segregación racial y que en la actualidad se le conoce por el apellido de su autor Modelo Schelling, el cual propone clarificar las relaciones entre el nivel micro y macrosocial. El modelo mide las actitudes intolerantes y la formación de haciendo uso de Automatas en un tablero donde cada celda ilustra a un agente.

El modelo de segregación racial se hizo muy popular por su sencillez conceptual donde cada agente vive en una celda que hace las veces de su casa. El modelo solo usa dos colores: blanco y gris. Los agentes en gris son tolerantes y los que están en blanco son intolerantes. A estas preferencias (Bruch & Mare, 2006) les llamaron *función de umbral*. Los vencimos intolerantes con bajos umbrales gustan

estar rodeados de personas de su mismo color y a los tolerantes con altos umbrales eso les da igual y viven con todo tipo de vecinos y razas (Schelling,, 1971).

En la figura 18, se ilustra dos investigación recientes inspiradas en el modelo de Schielling la de Sosa que utiliza la versión de cuadros negros blancos la modelo original y otra mide ya en colores los mapas de segregación racial en el condado de Hamilton en el estado de Ohio, Estados Unidos donde se parecían las barrios de personas blancas en amarillo, Afroamericanos en verde, Asiáticos en Rojo, los nativos americanos en color azul casi inapreciables y los hispanos en color café.

Figura 18. Modelo de Schelling: Segregación Racial y la Formación de Guetos.



Fuente: (Socescape, 2022)y (Sosa, 2015)

3) El Modelo Computacional

Este modelo describe sistemas en equilibrio usando algoritmos de tipo inductivo. El modelador captura las interacciones de los agentes tanto en equilibrio como cuando muestran patrones emergentes. Los modelos computacionales ilustran patrones de ordenen organizaciones terroristas, atascos de tráfico, guerras, accidentes bursátiles, segregación social. También pueden ser utilizados para ilustrar puntos críticos en el tiempo donde las acciones de los agentes provocan consecuencias extremas (Epstein & Axtell, 1996).

Algunos pioneros requieren mención especial y es el caso de Cioffi-Revilla en el campo de la ciencia política. Él se ocupó en estudiar los conflictos, las relaciones internacionales, y la complejidad social financiado por organismos interna-

cionales dentro los que destaca la OTAN. Sus modelos permiten evaluar riesgos, habiendo uso de modelos cartográficos que permiten la visualización y el análisis de los patrones espaciales con datos socio-político complejos.

Su investigación también abarca sistemas socio-naturales que integran la dinámica cultural y los cambios ambientales. Su trabajo es pionero en los modelos de agente basados de inestabilidad política y la dinámica ecológica. (Kranasov Institute, 2015).

Robert Axtell al que ya hemos hecho referencia también desarrolló modelos matemáticos Inspirados en el *modelo de segregación racial* Thomas Schelling. Fue alumno de Epstein con quien uso el modelo computacional estudiando fenómenos sociales como la migración estacional, la contaminación, la reproducción sexual, y la transmisión de enfermedades (Axell, 1999).

Melanie Mitchell investigadora de Universidad Estatal de Portland el Instituto de Santa Fe y el Laboratorio Nacional de Los Álamos realizo importantes aportaciones con su propuesta de arquitectura cognitiva Copycat en la que no podemos profundizar por falta de espacio (Mitchell, Holland, & Forrest, 1994).

MINERÍA DE DATOS (DATA MINING)

Para hacer minería hay que tener una mina y herramientas para extraer algo valioso: Oro plata, cobre, carbón. Para hacer *minería de datos* es necesario tener repositorios de datos que requieren ser analizados para tener sentido. Los datos son la materia prima bruta. Cuando los datos se analizan se convierten en información. Cuando a partir de la información, se interpreta y se crear algún modelo que permite entender mejor la realidad es cuando se llega al conocimiento.

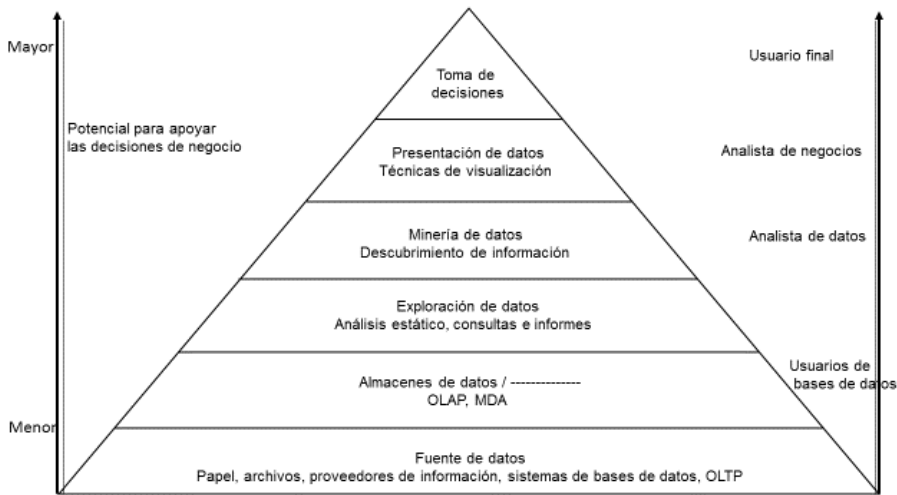
Aunque algunas personas lo usan como sinónimos no debe confundirse a la minería de datos con el Big Data y a diferencia de ésta, la mimería de datos usa datos estructurados.

Definición

Son las técnicas que exploran y analizan grandes *bases de datos* buscando de patrones y tendencias que permitan comprender un fenómeno natural o social.

La figura 1, describe la jerarquía que se usa en minería de datos.

Figura 18. Minería de Datos



Fuente: Traducción a partir de (Garcia, European Business school, 2015)

Según (Sinnexus, 2015) la minería de datos ha favorecido la aparición de otras técnicas de análisis de la información entre las cuales destacan: Datamart, Datawarehouse, Cuadro de Mando Integral (Balanced score card), los sistemas de soporte a la decisión (DSS), y los sistemas de información ejecutiva (EIS).

¿Cuál ha sido la evolución de la Minería de Datos (Data Mining)?

Aunque el concepto es nuevo, el análisis de información tiene una larga historia, apoyada en la estadística descriptiva e inferencial.

La aparición de la computadora y su diseminación, así como la creación de nuevas metodologías tales como, la inteligencia artificial y el análisis con simuladores contribuyeron a su estudio particularmente por especialistas y estudiantes de computación.

Aunque por la aparición del Big Data daría la impresión que se trata de una técnica pasada de moda no lo es. Empresas muy importantes como SAP, se dedican al estas tareas.

El análisis y extracción de datos se realiza desde hace miles de años ya que la información es una fuente de poder, la creación de las primeras oficina públicas de estadística fue un primer paso para la recopilación sistemática de datos sin

embargo el punto de inflexión fue el año 1960 cuando surgen las técnicas de agrupamiento de datos llamadas Structured Query Language (SQL). En la actualidad es un componente del Business Intelligence y se observa procesos de fusión con el Big data y el uso de la Nube, la computación virtual y el uso de base de datos tipo e memory (SAP, 2022).

¿Qué principios siguen la Minería de Datos?

Tienen tres principios: a) Estrategias para la recolección masiva de datos de calidad , b) Uso de computadoras seguras con alta capacidad y velocidad, c) algoritmos y programas amigables para la extracción, análisis e interpretación.

¿Cuántos tipos de Minería de Datos existen?

Muchas de las técnicas que han sido descritas en este libro pueden ser usadas tales como, Algoritmos genéticos, Redes neuronales si como: Warehousing, Web Mining y *La minería de contenido Text Mining. Identificando patrones.*

El web mining es la *minería de uso web* analizando la WWW y la estructura de sus ligas. Y *los logs de los accesos* a la web.

Según SAP (2022) hay tres conjuntos de técnicas: De asociación de eventos aparentemente no relacionados. Ejemplo de cervezas y pañales de bebe.

De agrupación de clústeres,. Por ejemplo cuando se analiza la violencia por homicidios en México, el 80% lo explican 50 municipios de los mas de 2,4870 que tiene el país.

De regresión que permite predecir patrones en el futuro.

¿Cuándo se usa Minería de Datos?

Cuando se requiere usar datos masivos a partir de censos gubernamentales e información estadística de secretarías de estado o de institutos federales de información o meta análisis de distintas bases privadas. También cuando se analiza información histórica de una gran empresa.

¿Cuál es el Proceso para llevar la Minería de Datos?

Tiene cinco fases: 1) identificación del problema a solucionar 2) Recopilación de datos 3) preparación y comprensión de datos. 4) interpretación y análisis de resultados. 5) Toma de decisiones.

¿En qué Campos del saber se aplica la Minería de Datos?

Se usan en los ministerios de Hacienda para ver quien cumple sus obligaciones fiscales, en la policía se usa para identificar patrones de conducta criminal, en asaltos robos y asesinatos, identificando zonas y modus operandi de redes criminales. En bancos se usan fraude en tarjetas, y phishing, las compañías de telefonía móvil analizan el uso y gustos de sus clientes (Rodas, 2001). Según SAP se puede usar en cualquier tipo de industria de cualquier tamaño, sin embargo los que pueden pagar una tecnología de este tipo son empresa de medianas a grandes.

¿Qué Softwares Existen para la Minería de Datos?

Existe una enorme cantidad de software disponible de manera gratuita.

A continuación, menciono solo siete de ellos. He privilegiado describir los que son de acceso gratuito bien sea porque así se diseñaron o porque hay una versión sin costo para descargar.

Cuadro 8. Software para Minería de Datos

Software	Tipo de licencia	Aplicaciones y tipos de análisis	lenguaje de programación	Sistema operativo	web
Weka	Gratuito	Clasificación descubrimiento Análisis de racimo, Asociación descubrimiento, descubrimiento aislados, visualización de datos, visualización de descubrimiento	Java	Windows, Linux, Mac	http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/
RapidMiner Antes se llamaba Yale	Gratuito	Descubrimiento de clasificación, descubrimiento de Cluster, regresión descubrimiento, descubrimiento de la Asociación, texto minería, aislados de descubrimiento, visualización de datos	Java	En todas las plataformas y sistemas operativos	https://rapidminer.com/
R	Gratuito	Descubrimiento de clasificación Cluster descubrimiento, descubrimiento de regresión, Asociación descubrimiento, Text Mining, aislados descubrimiento, visualización de datos, visualización de descubrimiento, análisis de la secuencia, Web Analytics, análisis de redes sociales	Lenguaje C	UNIX platforms, Windows y MacOS	https://www.r-project.org/

Keel	Gratuito - otras licencias de pago	Descubrimiento de la clasificación, descubrimiento de Cluster, regresión descubrimiento, descubrimiento de la Asociación, visualización de datos, visualización de descubrimiento	Java	Windows, Linux, Mac	http://www.keel.es/
Compumine	Gratuito - otras licencias de pago	Descubrimiento de la clasificación, descubrimiento de regresión, visualización de datos, visualización de descubrimiento	Lenguaje C	Windows, Linux	<a href="http://www.compu-
mine.com/">http://www.compu- mine.com/
Gait-Cad	Gratuito	Clasificación descubrimiento, descubrimiento de Cluster, descubrimiento de regresión, visualización de datos	Lenguaje C	Windows, Linux	<a href="http://www.iai.kit.
edu/www-extern/in-
dex.php?id=656&L=1">http://www.iai.kit. edu/www-extern/in- dex.php?id=656&L=1

Fuente: *Elaboración propia a partir de (DM, 2015)*

El estudio de los tutoriales y los casos descritos en los tutoriales de los programas que suelen incluir Demos, casos, artículos documentación manuales y correos de apoyo son la única manera de familiarizarse con el dominio de estos softwares.

¿Qué Ventajas e Inconvenientes tiene la Minería de Datos?

Permite crear almacenes de datos estratégicos. Facilita el conocimiento de los puntos fuertes y débiles de una organización, permite hacer hallazgos de aspectos aparentemente no relacionados.

Dentro de las desventajas, esta que requiere personal formado y capacidad que suele ser escaso en el mercado y muy volátil dada su alta demanda.

Si no se establecen los protocolos de seguridad adecuados puede ser un punto de ataque de personas con malas intenciones.

EL BIG DATA (ANÁLISIS MASIVO DE DATOS)

El análisis masivo de datos conocido mejor por su nombre en inglés Big Data. De una manera divertida. El Director del INEGI México mencionaba que el Big Data es como el sexo en los adolescentes: " *Todos hablan de él, todos dicen que lo están haciendo, pero nadie sabe bien como se hace...* ".

Viktor Schönberger profesor de Oxford creo el concepto en su libro llamado *A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*, (Google Libros, 2016).

Definición

Es el almacenamiento de grandes cantidades de datos tanto estructurados como no estructurados con técnicas de análisis que permiten encontrar patrones colectivos

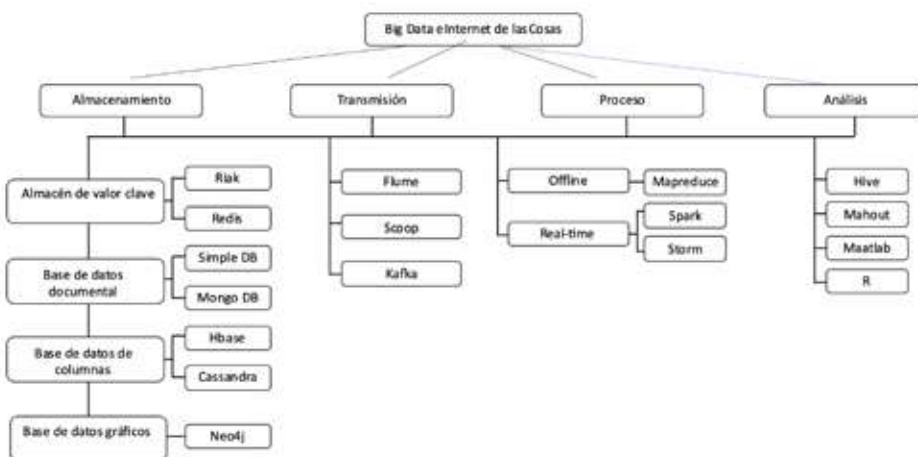
En una revisión sistema sobre el estado del arte en el uso del Big data en el mundo (Hajjajl , Wadii, Riadh , Romdhani,, & Hussain, 2020) encontraron que existe una relación cercana entre el Internet de las cosas IoT, y el Big data.

Encontraron que el internet de las cosas ha multiplicado exponencialmente la capacidad de ingresar datos de todo tipo, a cualquier hora, desde cualquier lugar, en cualquier servicio, desde cualquier red. El aumento de los sensores y tecnologías que lo permiten. La conectividad casi absoluta de la que se disfruta en algu-

nos países y las capas de inteligencia que existen por doquier han propiciado que en el año de 2020, 50 mil millones de dispositivos en todo el mundo sean capaces de añadir información con las características descritas (Hajjajl et. Al 2020 pag 1).

La figura 19, resume la relaciones los procesos principales que se usan en Big Data y el Internet de las Cosas y los programas más usados después de la revisión del estado del arte realizada por (Hajjajl , Wadii, Riadh , Romdhani,, & Hussain, 2020).

Figura 19. Procesos y Programas del Big Data y el Internet de las Cosas.



Fuente: (Hajjajl , Wadii, Riadh , Romdhani,, & Hussain, 2020)

¿Que son los Datos Masivos (BIG DATA)?

Los datos de casa llamados *Weare houses* y las técnicas de *Business Analytics* son estructuradas, y la información de Big Data hace una década era desestructurada sin embargo las tecnología han ido evolucionando hasta ser capaces de gestión tanto información no estructurada con estructurada.

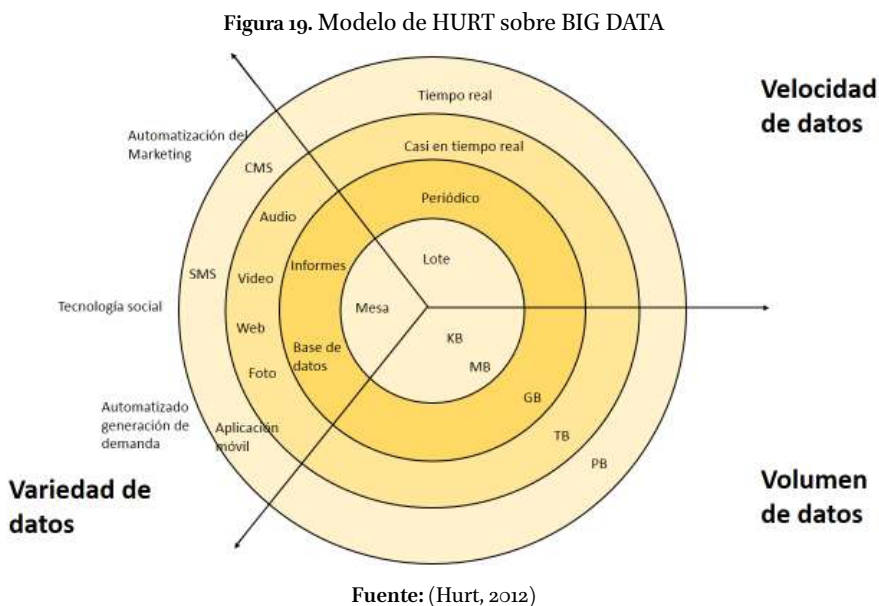
Hasta hace solo 5 años se consideraba tres fuerzas impulsoras con características de tsunami: Volumen, Velocidad y Variedad. Sobre *el volumen*: Se estima que la capacidad tecnológica per-cápita a nivel mundial para almacenar datos se dobla aproximadamente cada cuarenta meses desde los años ochenta (Hilbert & Lopez, 2011).

Sobre *la velocidad*. (IBM, 2016) estima que de los 2,5 trillones de bytes de datos que había en el mundo hasta 2016, el 90% de los datos de hoy se ha creado en los últimos dos años.

Desde entonces hay nuevas medidas de cuantificación como lo son petabytes¹⁷ o zettabytes¹⁸ de datos.

Sobre *la variedad* la multiplicación acelerada de los teléfonos celulares inteligentes, así como de sensores y cámaras en todos lados permiten conocer en tiempo real los movimientos y hábitos de vida, de los que habitamos la tierra.

La Figura 19, ilustra la evolución de la velocidad, la variedad y el volumen de los datos en un modelo propuesto por (Hurt, 2012).



17. Según (Informatica Hoy, 2016)... "Un petabyte es una unidad de almacenamiento de información cuyo símbolo es PB, y equivale a $1024 \text{ Terabytes} = 1.125,899.906.842.624$ de bytes. Un Terabyte son 1024 Gigabytes . $1 \text{ Gigabyte} = 1024 \text{ Megabytes}$. 1 Petabyte es suficiente para almacenar 13,3 años de video HD, - 1,5 Petabytes son necesarios para almacenar 10 Billones de fotos de Facebook, - Google procesa alrededor de 24 Petabytes de información..."
18. Según (Martinez A. , 2011) .."un zettabyte es un trillón de gigabytes. La cantidad de información necesaria para llenar 57,500 millones de iPads de 32 GB. Y construir la Gran Muralla China de iPads, con el doble de la altura promedio de la muralla original."

En la actualidad esta figura ha quedado algo anticuada porque tres vectores de fuerza se han sumado a la gestión de datos masivos. Variedad, Veracidad, Visualización y Seguridad y privacidad.

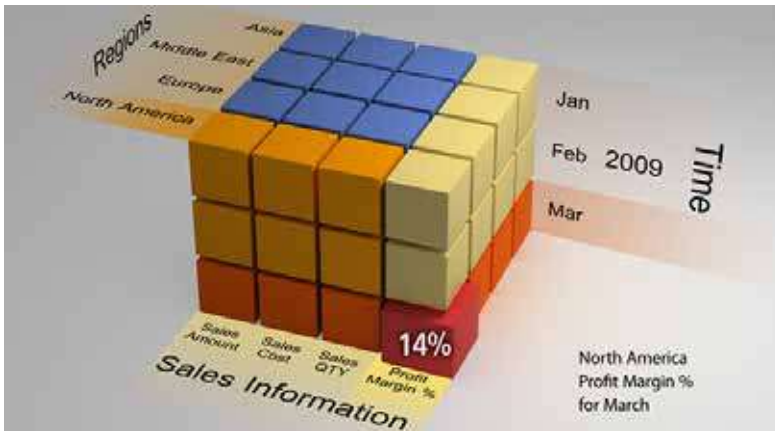
En lo que respecta a la variedad los datos de texto con formatos XML y JSON han crecido de manera desmesurada así como los datos desestructurados como imágenes y videos han aumentado la demanda de medir la calidad de la información la evitar el ruido y la parcialidad de los datos. Esto ha obligado a incluir un vector llamado Veracidad de los datos. El valor de los datos y los costos asociados a su gestion que garantice la calidad d ellos datos. La demanda de técnicas sofisticadas de Visualización que permita establecer relación efectivas con la información recolectada, así como un nuevo vector llamado Seguridad de los datos y privacidad de los emisores de la información sobre todo cuando se trata de información intima o relativa a información confidencias de personas e institucione (Hajjal, Wadii, Riadh , Romdhani,, & Hussain, 2020).

¿Cuál ha sido la Evolución Datos Masivo de Datos (BIG DATA)?

Existen cuatro fases de evolución en el Big Data: asociada la evolución que ha tenido la wew y se distinguen 5 generaciones de Busines Inteligence Analytycs (BIA) que son : BIA1.0, BIA 2.0, BIA3.0, BIA 4.0 y BIA5.0.

Las técnicas de análisis de datos de la primer generación se desarrollan en los 1980 y se popularizan hasta 1990 usando básicamente Gestores de bases relacionales y procesamiento en línea llamados On line Analytical Processing (OLAP) *estructuras multidimensionales (o Cubos OLAP) que contienen datos resumidos de grandes Bases de datos o Sistemas Transaccionales (OLTP). Usando una arquitectura de cubos, que se ilustran en la figura 20.*

Figura 20. Ejemplo de un cubo On-Line Analytical Processing (OLAP)



Fuente: (Busitelce, 2015)

Los sistemas Big Data de primera generación combina técnicas de la minería de datos tales como: los cuadros de mando, y los análisis estadísticos. Es esta generación las consultas son para indagar un problema específico y permite tomar decisiones en tiempo real.

Según (Chen, 2012). En esta generación destacan el análisis de asociación, la segmentación de datos y la agrupación, clasificación y análisis de regresión, detección de anomalías, y el modelado predictivo en diversas aplicaciones empresariales.

BI&A 2.0

Según (Doan, Ramakrishan, & Halevy, 2011). A partir del año 2000, fue posible la recopilación de datos y la investigación analítica de los sistemas Web 1.0 basados en HTTP, que usaban Google y Yahoo, así como y empresas como Amazon y eBay.

Estas interacciones favorecieron el registro de IP registros mediante cookies y registros del servidor que permitió entender los gustos del cliente. (Chen, 2012).

A partir de entonces aparece la Web analítica, la web inteligente y el Crowdsourcing¹⁹

19. Según (Arango, 2016) ... "Viene de la unión de los términos en inglés crowd (multitud) y outsourcing (externalización) fue acuñado en el año 2006 en un artículo de la revista Wi-

En el Big data BI&A 2.0 aparecen también los retos de análisis masivo de texto y los contenidos no estructurados.

Las técnicas de segunda generación privilegian la extracción de conclusiones, el análisis de redes sociales y los espacios temporal espacial de usuarios

BI&A 3.0

Según comenta (Chen, 2012) citando a The Economist (2011), .."el número de teléfonos móviles y tabletas en esa época eran 480 millones de unidades con lo cual superó el número de ordenadores portátiles y PCs (unos 380 millones de unidades), por primera vez. Se estima que para el año 2020. los dispositivos conectados móviles sumen 10 mil millones (iPad, el iPhone, etc y el Internet de las cosas con acceso al WIFI, códigos de barra.

Lo cual constituye la tercera generación llamada . BI&A 3.0.."

El contenido móvil y los nuevos sensores supone los siguientes desafíos: Análisis sensible a la ubicación, análisis centrada en la persona, Análisis del contexto relevante, visualización móvil e interacción persona-computadora o interacción persona-ordenador (IPO) conocida mejor por sus siglas en ingles HCI (Human competer interacción) (Carolll, 2016).

¿En dónde se aplica el BIG Data?

(Chen, 2012) es decir hace 10 años, mencionaba cinco los campos donde se usan el Big data con más éxito: E Comercio, gobierno electrónico, salud, y seguridad pública. El cuadro 9 resume las aplicaciones.

red y surge como un modelo de 'outsourcing' o tercerización basado en el empleo de talento humano o 'multitudes' externos a una compañía o un proyecto.

Cuadro 9. Aplicaciones del BIG Data

	Comercio electrónico e inteligencia de negocios	Gobierno Electrónico	Tecnología Científica	Salud y Bienestar	Seguridad y Seguridad Pública
Datos	<ul style="list-style-type: none"> · Búsquedas por el usuario e inicio sesión · Registros de las transacciones de los clientes · Cliente- contenido generado 	<p>Información y servicios del Gobierno</p> <ul style="list-style-type: none"> · Las reglas y regulaciones <p>retroalimentación ciudadana y comentarios</p>	<p>Instrumentos de ciencia y Tecnología generada por el sistema de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> · Contenido del sensores y de la web 	<ul style="list-style-type: none"> · La genómica y la secuencia de datos · registros de salud electrónicos (EHR) · Salud y medios de comunicación social del paciente 	<p>Antecedentes penales</p> <ul style="list-style-type: none"> · Mapas de Crimen · Las redes de delincuentes · Noticias y contenidos web · Bases de datos de incidentes Terrorismo · virus, y ataques informáticos y redes de bots
Características de los datos	<p>Estructurado basado en web, el usuario genera contenidos, información de la red</p> <p>rica,</p> <p>No estructurados opiniones de los clientes informales</p>	<p>Fuentes fragmentadas, no estructurados conversaciones informales ciudadanos</p>	<p>Estructurados Alto Rendimiento de recolección de datos basados en instrumentos, fino grano de modalidad múltiple y registros a gran escala, formatos de datos específicos de ciencia y tecnología</p>	<p>Contenido dis tintos pero muy ligado, para cada persona, existen dilemas éticos en su uso</p>	<p>La información personal de identidad, contenido incompleto y engañosos, contenido multilingüe</p>

<p>Tipo de análisis</p>	<p>Análisis de conglomerados</p> <ul style="list-style-type: none"> ·Detección de anomalías ·Gráfico de minería ·Análisis de redes sociales <p>Análisis de la web</p>	<p>integración de información</p> <ul style="list-style-type: none"> · Contenido y análisis de texto · Evaluación redes sociales 	<p>Los modelos matemáticos y analíticos específicos de dominio basados en S & T</p>	<p>Análisis y visualización de secuencias genómicas</p> <p>Análisis expedientes de la Salud</p> <ul style="list-style-type: none"> · Análisis de la red del Paciente · Análisis de efecto secundario adverso de medicamentos 	<ul style="list-style-type: none"> · Análisis de agrupaciones · Análisis de redes criminales · Análisis espacial-temporal y visualización · Análisis de los ataques cibernéticos
<p>Impacto del análisis Big Data</p>	<p>Recomendación personalizada a clientes, aumento de ventas y satisfacción del cliente</p>	<p>Aumento de imagen de gobierno, capacitar a ciudadanos, mejorar la transparencia, la participación y la igualdad</p>	<p>Avances en Ciencia y Tecnología, aumento del impacto científico</p>	<p>Calidad mejorada la atención, la caracterización de un tipo de pacientes relevantes</p>	<p>Mejora de la paz social y la seguridad pública</p>

Fuente: (Chen, 2012)

Trascurrido 8 años desde el informe de Chen, la aplicaciones se han movido a usar aplicaciones del Big data se han vuelto de tiempo real para sistema de medición inteligentes en tiempo real usando para los sistemas de abasteciendo de agua , sensores en la agricultura , sensores sen el clima y en la medición de la calidad del aire en megalópolis.

¿Cuáles son las diferencias entre datos estructurado, semi estructurados y no estructurados?

Según (Universidad Politecnica de Madrid, 2016). Los Datos estructurados (Structured Data): Tienen bien definida su longitud y su formato, como las fechas, los números o las cadenas de caracteres. Suelen almacenarse en hojas de cálculo tipo Excel.

Dentro de los tipos de datos estructurados están los siguientes: Array, string, record, set, file. Texto y objeto.

Datos no estructurados: son datos que se recopilan tal y como fueron recolectados, y por tanto carecen de un formato específico. Son datos que se recolectan no están normalizados y no tienen un patrón definido sin embargo tiene ese potencial. Sus fuentes tradicionales son los emails, las conversaciones de whast up los archivos de audio los blogs, los mensajes de voz y videos caseros.

Ejemplo de datos semiestructurados

Cliente	Teléfono	Genero	Correo
Ramón González	5655272984	M	rgonzalez@gmail.com

Fuente: Elaboración propia

La Figura 21, da ejemplos de datos estructurados, no estructurados y semiestructurados.

Figura 21 Ejemplos de Datos

Datos estructurados	Datos semiestructurados	Datos no estructurados
Fichas de clientes Fecha de nacimiento Nombre Dirección Transacciones en un mes Puntos de compra	Correos electrónicos Parte estructurada: destinatario, receptores, tema Parte no estructurada: cuerpo del mensaje	Persona a persona Comunicaciones en las redes sociales Persona a máquina Dispositivos médicos Comercio electrónico Ordenadores, móviles Máquina a máquina Sensores, dispositivos GPS Cámaras de seguridad

Fuente: (Matè, 2014)

¿Cuál es el proceso para llevar a cabo un análisis de BIG DATA?

Las fases cambian según los autores pero coinciden en seis fases que son:

1. Adquisición de datos mediante archivos o sensores
2. Capa de red de información, transmisión e interconexión de la plataforma de datos
3. Proceso de limpieza y eliminación de “ruido” e incongruencias de datos.
4. Diseño de la arquitectura de almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de datos.
5. Análisis de datos que incluya la descripción, predicción, prescripción y evaluación de patrones estadísticos.
6. Visualización y presentación de hallazgos e interpretación de patrones y comunicación a los tomadores de decisión (Hajjajl , Wadii, Riadh , Romdhani,, & Hussain, 2020).

El cuadro 6 resumen las tecnologías que existen en el mercado.

Cuadro 10. Tecnologías de Base de Datos Estructurados y Bases de Datos No SQL

Tecnologías de Base de datos	
Apache Hadoop	Procesa grandes conjuntos de mediante grupos de computadoras con programas sencillos de programación. Permite que servidores individuales transfieran información a miles de dispositivos.
Sistema de archivos distribuidos	Sistema con gran resistencia a fallos, puede almacenar 100 TB en un solo archivo. Permite procesar gigabytes (GB) y petabytes (PB). Capacidad de lectura a gran velocidad con ejecución en una dispositivo sin hardware especial.
Hadoop MapReduce	Existen dos roles un maestro,(JobTracker) y un esclavo, (TaskTracker), encada nodo. Uno genera ordenes de tareas y el otro las ejecuta
Bases de datos NoSQL	
DynamoDB	Almacenamiento económico de grandes cantidad de información. En estado sólido que permiten una mayor velocidad búsqueda.
Cassandra	Base distribuida, desarrollada con código abierto
Voldemort	Desarrollo de LinkedIn, para problemas de escalabilidad Permite replicar información en diferentes nodos o servidores.
Google BigTable	Usa tablas multidimensionales para dos servidores diferentes: uno llamado Master,el otro <i>Chunk Server</i> , que almacena los datos.
HBase	Almacena y reupera datos de manera aleatoria se usa en datos : no estructurados, semiestructurados y estructurados. No permite consultas SQL.
F. Riak	Almacena la información relevante tolerante a fallos, previene errores
CouchDB	Base documental, compuesta por documentos, versatilidad de instalación en <i>datacenter o un modesto Smartphone</i> .
H. MongoDB	Base de datos NoSQL documental de código abierto.

BaseX	Base de datos NoSQL. Permite almacenar, recuperar y gestionar datos de documentos; flexibilidad para gestionar archivos XML, JSON y formatos binarios.
-------	--

Fuente: Elaboración propia a partir de (Camargo- Vega, Camargo- Ortega, & Joyanes- Aguilar, 2015)

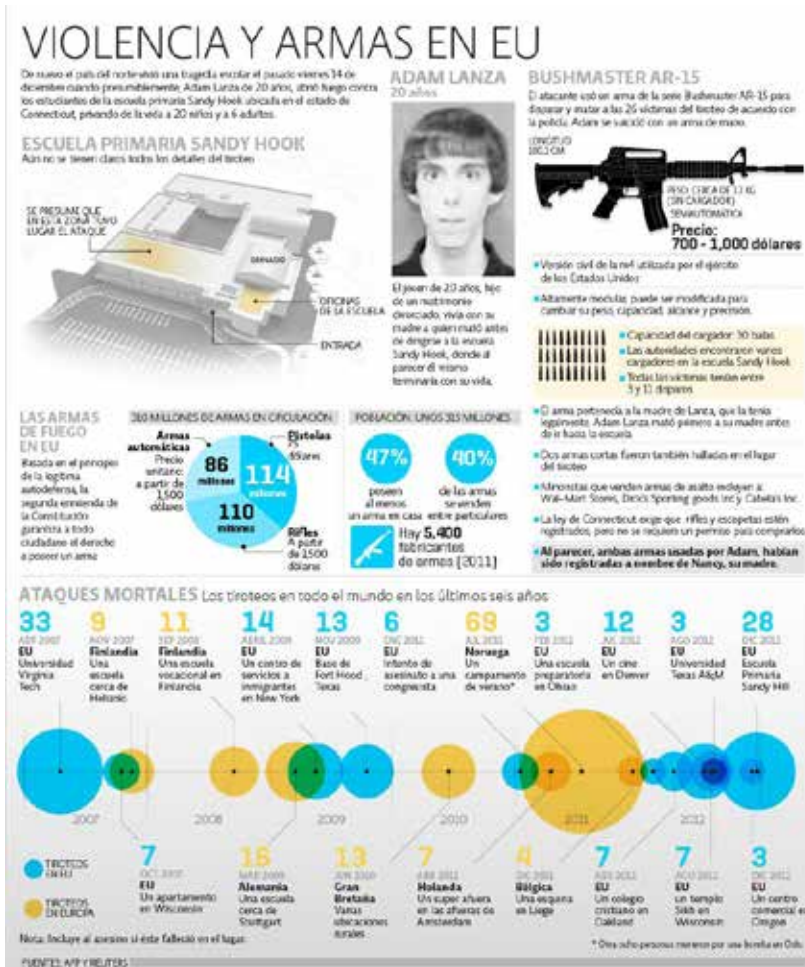
La importancia de la Visualización de datos en el Big Data.

A la visualización de le conoce como infografía, y combina imágenes sintéticas, para comunicar de manera visual.

Información compleja se describe en textos pequeños combinada con gráficos, mapas, tablas y diagramas. Hay infografía periodística, infografía online, infografía arquitectónica, infografía instructiva, (Oficefacil.com, 2010).

La Figura 22 ilustra un ejemplo de Infografía aparecida en el estupendo periódico mexicano El Economista.

Figura 22. Ejemplo de una infografía sobre la violencia en EU



Fuente: (El Economista, 2012)

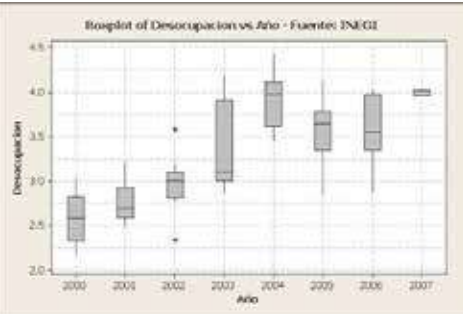
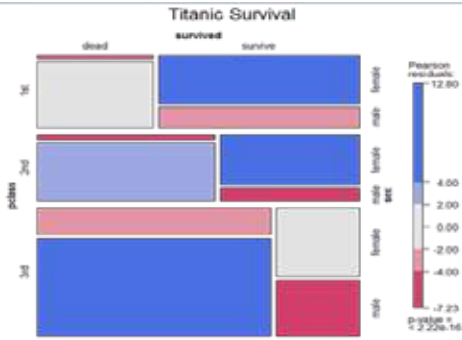
Existe una plataforma llamada Mondrian que permite visualizar la información a través de los análisis llevados a cabo sobre los datos que disponemos.

Permite la visualización de datos estadísticos de uso general, e interactiva de datos. Permite los siguientes tipos de visualizaciones: Figuras de barras, Diagrama de parcelas (Spineplot), histograma, Spino-gram, Diagrama de caja. En Figuras de dos dimensiones: Diagrama de dispersión,

Diagrama de caja y por x y los mapas de calor (Cloropeth Maps)²⁰. En Figuras de tres dimensiones: análisis multivariante, matriz de dispersión y coordenadas paralelas. Dentro de las multivariante categórica destaca la parcela mosaico llamada (Treemapping). En materia de información geoFigura permite la realización de mapas (Modrian, 2016).

Considerado que hay muchas formas de representación gráfica que no son comunes la figura 23 ilustra algunos ejemplos.

Figura 23 Ejemplo de Gráficos en BIG DATA

Diagramas de Caja (Boxplots)	Diagrama de parcelas (Spine Plot)
	
<p>Fuente: (El justo reclamo, 2007)</p>	<p>Fuente: (Datameister, 2013)</p>
<p>Spinograma (Spingram)²¹</p>	<p>Gráfica Paralela Coordinada (Parallel coordinate plot)</p>

20. Se basa en unidades de áreas predefinidas, tales como estados, condados, secciones censales.
21. Un Spinogram se crea cuando la respuesta tiene una respuesta categórica, mientras que el predictor tiene un valor continuo. La anchura de las barras corresponde a las frecuencias relativas de x. Las alturas de las barras a continuación corresponden a las frecuencias relativas condicionales de y en todos los grupos x.

<p>Fuente: (York University, 2012)</p>	<p>Fuente: (A million maps, 2008)</p>
<p>Mapas de Calor (Choropleth Maps)</p>	<p>Diagramas de Cúmulos ²²</p>
<p>Fuente: (A million maps, 2008)</p>	<p>Fuente: (Heer, Boostock, & Ogievetsky, 2016)</p>

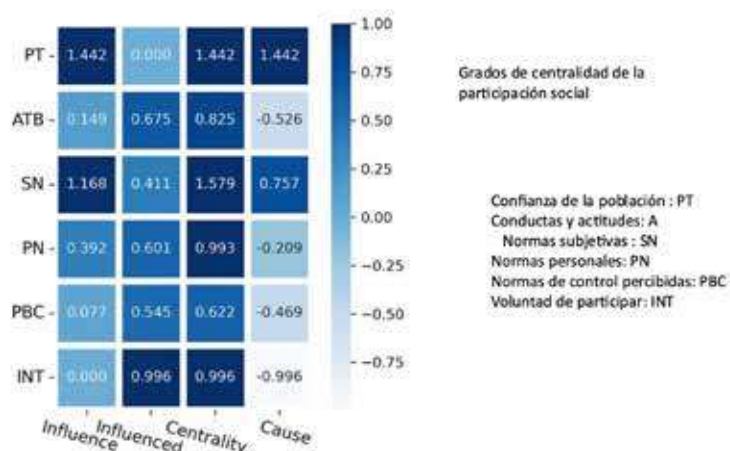
Así mismo, resulta de interés mencionar el avance que existen en la representación gráfica de investigaciones de tipo explicativo que aunque no sean sistemas complejos, contribuye mucho a la comprensión de la validación de hipótesis de una manera gráfica. Esta es una investigación que mide la influencia de la voluntad de participación pública en proyectos de subestación eléctrica en China. El la

22. Un mapa de árbol de forma recursiva subdivide zona en rectángulos. Al igual que con los diagramas de adyacencia, el tamaño de los nodos se hace evidente.

figura se muestran los coeficientes estandarizados de las variables latentes resultantes del análisis con ecuaciones estructurales SEM, las relaciones y el grado de influencia de las variable latentes usando el método de Dematel.

La grafica presenta la evidencia que cuando el público está involucrado en la construcción de una subestación eléctrica, las normas de conductas de las personas NP es un determinante directo que influye en la voluntad de participar y en la aceptación del proyecto.

Figura 24. Voluntad de la comunidad en los Proyectos deSubestaciones Eléctricas en China.



Fuente: (Ma, Li, Guo, Cui, & Chen, 2022)

¿Qué Software hay en Big DATA?





Hay software que tienen versiones libres de pago a prueba y software de costo. A continuación, (Camargo- Vega, Camargo- Ortega, & Joyanes- Aguilar, 2015) mencionan tres software con versiones gratuitas de prueba.

Cuadro 1. Software gratuito para Big Data

Software	Descripción
BigQuery	Patrocinado por Google para análisis interactivo de datos masivos se usa junto a Google Storage. Y se complementa con MapReduce.
ThinkUp	Permite extraer información de redes sociales como Twitter, Necesita un servidor una base MySQL. Tiene código abierto
Textalytics	Permite la extracción de información de noticias, y documentos. También ofrece editoriales y análisis de los medios de comunicación. Requiere licencia pero hay una versión gratuita (Programable WEB, 2016).

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes señaladas

Según (Henschen, 2014) hay 16 software relevantes de tipo comercial. A continuación, se citan los cuatro más relevantes de tipo comercial cuyo principal inconveniente es que puede costar entre miles de dólares a millones si la empresa requiere consultoría.

SoftWare	Descripción
 1010data	1010data es un software que con un diseño propio y con funciones SQL permite tipos de consulta más amplios, incluido el gráfico y análisis de series de tiempo. Puede procesar datos semi-estructurados, permite la integración de datos, informes y herramientas de visualización de datos, así como las funciones analíticas avanzadas, incluyendo el análisis estadístico, la optimización y aprendizaje automático.
 Vertica de HP	Permite el procesamiento paralelo masivo DBMS analíticas por columnas de HP diseñados para el análisis rápido de los conjuntos de datos estructurados masivos
 InfiniDB	Similar a HP Vertica pero con características automatizadas de partición y más fácil de manejar.
	Integra datos y le hace limpieza, Compatible con SPSS, opciones de texto y la minería de datos no estructurados, y las herramientas desarrolladas por IBM para Hadoop incluyendo grandes hojas y BIGSQL

Fuente: Elaboración propia a partir de (Henschen, 2014)

¿Qué Ventajas e Inconvenientes tiene BIG DATA?

La ventajas del Big data son increíbles si realmente se tiene la necesidad de utilizar datos masivos. Esto es más de 20 Tera Bites. Una de las fuerzas impulsoras del Big Data es la asombrosa reducción de los costos de almacenamiento de la información y la aparición de software de análisis. El Big Data sin embargo, requiere estudio y formación, y una infraestructura mínima de software y hardware.

Las desventajas están en que al ser una moda y se usa sin realmente saber si merece la pena..

El Big Data requiere tiempo, formación e inversión y directivos visionarios quede verdad tomen decisiones con base en ello. Se incluye como una técnica se sistemas complejos por su capacidad de identificar patrones de conducta y comportamiento.

Capítulo 7.

Séptimo Tributario. Computación Cuántica, e Inteligencia Artificial

LA INTELIGENCIA CONTRA LA IGNORANCIA: ALAN TURING

Es uno de los científicos más inspiradores por su genio, por su generosidad y por la envidia y la inquina que rodeó su vida de sus desagradecidos contemporáneos quienes lo acosaron y obligaron a una muerte miserable a los 42 años por su orientación sexual. Pese a haber salvado miles de vidas en la segunda guerra mundial con su talento y constancia. Fue obligado a seguir un humillante tratamiento de castración química lo cual lo condujo al suicidio por envenenamiento al ingerir una manzana con cianuro. El logo que usa la empresa Apple con un mazana mordida y el arcoíris de la comunidad es un merecido homenaje. Esta versión aunque reinantica es falsa, ya que el diseñador del logo le puso una mordida a la manzana para que no se confundiera con una cereza, sin embargo en la actualidad la empresa está encantada del mito creado.

En la figura, aparece a los 16 años con su querido amigo Cristofer Morcom trágicamente muerto por beber leche contaminada con tuberculosis bovina. Aunque en diversas versiones que pululan en la web menciona que fue solo un vaso, en realidad Cristofer Morcom al vivir en un medio rural, lo había hecho por años y en 1930 a la edad de 18 años murió a consecuencia de ello. Diversas fuentes mencionan que fue el primer gran amor de Turing , y que la muerte de su amigo lo volvió ateo el resto de su vida. La muerte de su amigo que parecería una anécdota irrelevante lo impulso a estudiar obras de biología, filosofía, lógica, matemática que resultarían útiles para crear la primera máquina inteligente llamada la Máquina de Turing.

çFigura 1. Alan Turing y Christopher Morcom



Fuente: (Polari Magazine, 2012)

Alan Turing fue un hombre excepcional y un héroe nacional como ya he mencionado, en la segunda guerra mundial consiguió descifrar el código Enigma de los nazis y salvar miles de vidas. En Nexflix hay una película llamada precisamente. “Código enigma”.

Turing tenía una increíble energía y una voluntad de hierro. Es conocida la anécdota que el primer día de clases al suspender las corridas de autobuses de su pueblo a su instituto y ante la inminencia de perder su primera clase recorrió 96 Kilómetros en bicicleta. Esta determinación tan poco usual tanto en su época como ahora, apareció en los periódicos de la época.

Puesto que el padre de Turing era un funcionario importante en India paso sus primeros trece años de vida en ese enigmático y soñado país. Posteriormente estudió matemáticas en el prestigioso King Collage de Cambridge donde confraternizó con los matemáticos más insignes de su época incluido Albert Einstein, Gödel y Von Neumann , con el cual trabajó en Princeton. Newman reconocería después de su muerte que se inspiró en un artículo de Turing no publicado, para diseñar la primera computadora de la que hemos hablado en el capítulo anterior.

La creación de la máquina de Turing requirió varios años de aproximaciones. Inicio desde 1936 cuando creó el programa que relacionaba con instrucciones lógicas la mente y la máquina. Entre 1939 y 1942 en plena segunda guerra mundial, trabajó en el ejercito descifrando códigos alemanes. En 1944, inicio la construcción de su “ cerebro” y aunque la ingeniera eléctrica de su época, no estaba a la altura de sus necesidades le permitiría descifrar el *Código Enigma*. En 1948, ya terminada la guerra, en Manchester hizo la primera demostración práctica de su *máquina inteligente*.

Turing es considerado el padre de la Inteligencia Artificial por la creación del cacharro al cual le llamo 'Bomba', en relación con los bombardeos que realizaba la Alemania nazi un día sí y otro también sobre su precioso país y cuya rabia le motivo a descifrar el famoso código 'Enigma'.

Al descifrar los códigos nazis, permitió saber a los británicos que harían los submarinos alemanes y a su vez no pudieran hundir los barcos aliados de suministro que cruzaban por el océano Atlántico.

Desde el punto de vista tecnológico *la Máquina Turing* genera estados finitos del tipo autómatas celulares, y a partir de instrucciones lógicas secuenciadas (un algoritmo) funciona sin problemas. Turing estaba convencido que una máquina podía ser capaz de imitar perfectamente la inteligencia humana. La máquina universal de Turing es capaz de emular a cualquier otra, aunque sea más compleja que ella misma. Esta máquina es la abuela de las computadoras actuales.

Turing diseñó un proceso para evaluar si una máquina es o no es inteligente mediante un juego en el que participan tres personas en el *Juego de la Imitación* que era popular en su época. En dicho juego hay un interrogador, un hombre y una mujer. Con preguntas en 5 minutos una persona debe decidir si el que responde es hombre o mujer. El hombre que responde simula ser mujer. Y la mujer verdadera trata de ayudar al interrogador a que descubra quien es la verdadera mujer. Si después de 5 minutos el voluntario no puede adivinar quien es la verdadera mujer, el hombre gana el juego.

En el juego de Turing el papel del hombre haciendo creer que es una mujer lo asume su máquina y si engaña al interrogador entonces gana el juego porque demuestra *que es inteligente*.

La máquina de Turing se ilustra en la figura 2, era muy avanzada ya que es en realidad un dispositivo de reconocimiento de voz que funcionaba con cintas de salida y de entrada, capaz de reconocer distintos tipos de lenguajes. La máquina usaba cintas que leía en cada paso del interrogatorio (Lopez, 2012).

Figura 2. Máquina Original de Turing



Fuente: (Tec Review, 2016)

Con el paso de los años se desarrollaron distinta *Máquinas de Turing*: Con varias cintas, de varias dimensiones, con cabezales múltiples, no determinista, cuántica y maquina universal entre otras (UNED, 2015).

En diciembre de 2013, 59 años después de su muerte, la Reina Isabel le otorgó el *perdón real* título póstumo que más bien debería haber sido una súplica avergonzada a un científico que tuvo la tragedia de vivir en un país intolerante e hipócrita con larga tradición de perseguir y linchar genios por su orientación sexual. Incluso después de tantos años este mísero perdón, estuvo envuelto en la polémica ya que aunque Gordon Brown pidió disculpas por la que presión social que hubo sobre el tema, en 2012, y el nuevo primer ministro David Cameron, se negó a indultar el científico, hasta que la Reina otorgó el chicanero indulto.

Por fortuna no todos los británicos son como sus impresentables políticos y existe un estatua de Turing en Manchester y la Association for Computing Machinery creó el premio Turing que es considerado el Nobel de la Computación.

En la Escuela Superior de Computo del IPN, Genaro Juárez-Martínez y sus estudiantes y colaboradores en el ALIROB (Laboratorio de Robótica de Vida Artificial) en México, han desarrollado una variedad de máquinas de Turing celebradas a nivel internacional por su originalidad ya que usa cubos de Lego y realiza.”

Movimientos a distancia como “parada” para recalibrar el pequeño brazo oscilante después de cada golpe que ejecuta”.

(Modular Robotics, 2019). Ver el video disponible en You Tube <https://www.youtube.com/watch?v=GIQDA5Gnxkc&feature=youtu.be>.

COMPLEJIDAD COMPUTACIONAL CUÁNTICA: CHARLES BENNETT & PETER SHOR

En la vida real hay problemas complejos de gran impacto tanto por su impacto social, relevancia económica, implicaciones políticas o consecuencias ambientales no solo para un país o región si no para la Tierra y nuestra civilización.

En computación o en las ciencias de la Tecnologías de la información y las comunicaciones TIC, los dos problemas centrales son el tiempo y el espacio con los cuales se mide el grado de complejidad computacional de un problema en específico.

Aunque como ya hemos visto a Alan Turing se le considera el padre de la inteligencia artificial ahora también los expertos en Computación le han nombrado su “padre “ y su artículo *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungs problem* publicado en la famosa *Proceedings of the London Mathematical Society*, se considera el artículo seminal con el que empezó la Inteligencia Artificial.

En Computación hay dos formas de clasificar los problemas: 1) problemas tratables y 2) problemas intratables. Dependiendo del tiempo de ejecución y el espacio de soluciones que requiere su solución.

Para ilustrar la tipología de problemas intratables Hamilton y Kirkman desde 1800 plantearon el problema del agente viajero, quien debe visitar cuatro ciudades repartidas por todo el mundo de la manera más eficiente por ello debe estudiar todas las alternativas que se explican por la fórmula $(n-1) / 2$, así para un problema de 4 ciudades las rutas posibles son $(4-1) / 2=3$, para un problema de 10 ciudades es de $(10-1) / 2=181,440$ rutas posibles y para 30 ciudades.

Con estas condiciones, el problema es de tipo polinomial en donde los tiempos son razonables se consideran tratables. Aquellos problemas que tienen un crecimiento factorial como el agente viajero y otros que tienen un crecimiento exponencial y dado que el tiempo para poder resolverlos sobrepasa lo que se consideraría un tiempo razonable se consideran problemas intratables. Para dejar claro cuál es límite de un tiempo polinomial se consideran todos aquellos algoritmos

que observen a lo máximo un tiempo polinómico de n^k donde k es una constante positiva, y todos aquellos algoritmos que observen comportamientos del orden factorial y exponencial se consideran no polinomiales.

Los algoritmos en computación se clasifican en dos tipos 1) deterministas y 2) no deterministas. Los algoritmos deterministas se les llaman exactos porque para una entrada produce exactamente una salida, si se ejecutan más de una vez, siguen exactamente el mismo camino. Los algoritmos no deterministas por el contrario, no siguen un mismo camino, es decir que en un punto determinado puede elegir dos o más caminos de manera aleatoria, por tanto cada vez que se ejecutan producen soluciones diferentes.

Para la clasificación los problemas que son tratables con tiempos polinomiales para encontrar su solución se conocen como problemas P (*polynomial time*), esto es, que existe un algoritmo determinista en tiempo polinomial que puede encontrar la solución exacta.

Los problemas intratables son más sofisticados y se les llama problemas NP (*Non Deterministic Polynomial time*), esto es, que no existe un algoritmo determinista en tiempo polinomial que encuentre la solución exacta, pero que *posiblemente* exista un algoritmo no determinista que si pueda encontrarla.

Los algoritmos deterministas permiten hallar una solución exacta explorando *todo el espacio de soluciones*, en problemas tipo P tratables que exhiben conductas polinomiales. En problemas NP que son intratables el espacio de soluciones es de tipo factorial o exponencial, lo cual los hace insolubles por el tiempo que demora llegar a una solución.

En la práctica se utilizan algoritmos no deterministas para problemas NP pero que solo se ejecutan por un tiempo determinado, es decir que tienen un criterio de paro asociado a un tiempo x que es razonable o polinomial, a esto se le conoce como acotamiento, esto es, que el algoritmo está acotado de forma polinomial cuando su comportamiento es no polinomial, esto produce soluciones no exactas que se conocen como soluciones aproximadas.

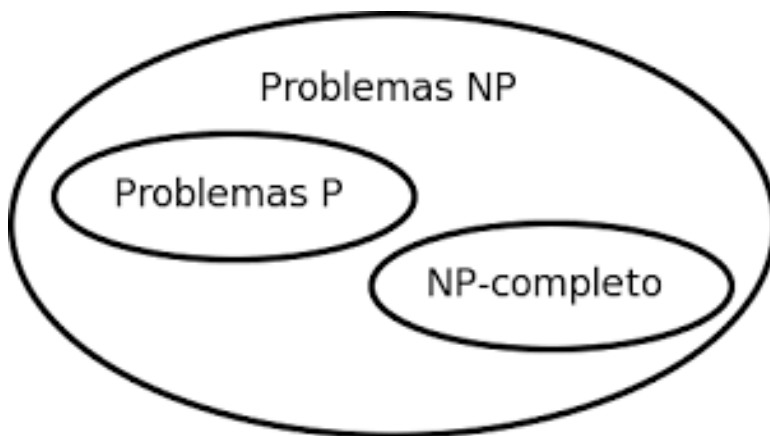
Para tratar los problemas NP se utilizan los algoritmos no deterministas acotados en tiempo polinomial (nondeterministic polynomial time) que buscan de manera aleatoria dentro del espacio de soluciones con la esperanza de encontrar la solución, pero que no sabe si es exacta o aproximada, este tipo de algoritmos no son capaces de evaluar todas las posibles soluciones por lo que se han creado diferentes técnicas basadas en heurísticas, metaheurísticas e hiperheurísticas para ser

selectivos y buscar solo donde posiblemente se encuentre las mejores soluciones, están técnicas han mostrado buenos avances.

Claramente podemos observar cómo influye en tiempo y el espacio en un problema NP o llamado de gran escala o problema complejo. Para acortar los tiempos de procesamiento a problemas de gran escala, se utiliza la supercomputación, en estas máquinas es posible acortar los tiempos de procesamiento de años a días y también ha sido posible tratar problemas que requieren grandes cantidades de información y memoria que no se pueden resolver en computadoras comunes, aun así con estos avances los problemas NP continúan siendo difíciles de resolver.

En la figura 3, se ilustra como se dividen los dos tipos de problemas mencionados. A veces los problemas NP a veces se soluciona con un algoritmo determinista con tiempo polinomial pero si crecen exponencial o factorial se consideran problemas NP-Completos, es decir, más complejos que los problemas NP.

Figura 3. Clases de Complejidad



Fuente : (Universidad Nacional del Noreste, 2019)

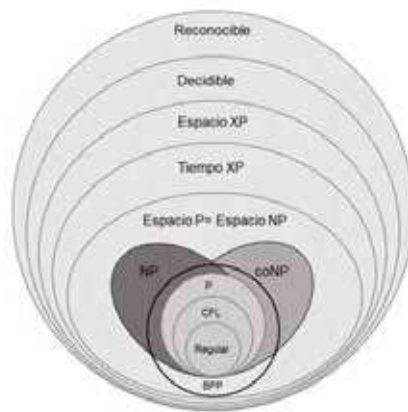
Las más modernas supercomputadoras pueden encontrarse en (Top 500, 2019), estas supercomputadoras han permitido reducir los tiempos a problemas NP, pero que aún para entradas grandes continúan sin poder encontrar una solución exacta. En este sentido en donde el tiempo es el principal obstáculo, se han planteado las computadoras cuánticas que superaran por mucho las actuales supercomputadoras y permitirán resolver casi cualquier problema de tipo NP-Completo, lo que supondría un riesgo a la seguridad.

Aunque la influencia de Turing ha dejado en la computación una impronta imposible de borrar su máquina, era incapaz de medir el tiempo y su memoria le impedía resolver problemas complicados. Debilidad que subsanaría la Computación Polinómica ²³.

Hartman & Stearns, mencionaban que buen algoritmo en computación debía medir el tiempo con un polinomio (Hartmanis & Stearns, 1965). Y que para evaluar la eficiencia de un programa se debía medir, el tiempo y el espacio. Por lo tanto las dos preguntas claves para medir los costos de computación son: ¿En cuánto tiempo corre el algoritmo?, ¿Cuánta memoria y espacio de almacenamiento necesita?

En resumen, los problemas sin solución se llaman indecibles, y los que se pueden resolver, pero tardan demasiado les llaman intratables. Los problemas que se resuelven en tiempo asumible se llaman polinomiales (unas horas o unos días). La figura 4, ilustra la tipología de problemas que hemos mencionado.

Figura 4. Niveles de Complejidad en Computación



Fuente: (Moore & Chumbley, 2019)

Los profesores de computación suelen torturar a sus estudiantes con el problema clásico del agente viajero que debe visitar varias ciudades eligiendo entre todas las rutas posibles. Si solo son 10 ciudades, el problema es determinístico y no reviste mucha dificultad, pero si son 666 las ciudades se requiere la aplicación de

23. Un polinomio puede tener dos o más variables (x, y, z), y sus fracciones y exponentes deben ser números enteros y positivos.

un algoritmo no determinístico acotado a tiempo polinomial : ...” *El viajero debe visitar varias ciudades, para lo cual tiene un presupuesto fijo. Conoce supuesto se asumen que sabe lo que cuesta casa de viaje entre las ciudades. Debe elegir un recorrido, que no exceda el presupuesto que tiene, saliendo de donde vive y terminando en la misma ciudad. Los programas suelen arrojar un número enorme al calcular todas las posibles combinaciones. Pero si indica un recorrido concreto, el problema se vuelve muy fácil cuidando tan solo que lo que cuesta no excede lo presupuestado...*” (Orejas, 2013)

La solución partiendo de Barcelona, España se ilustra en la Figura 5.

Figura 5. Solución del Agente Viajero en 4 Ciudades Saliedo de Barcelona



Fuente: (Orejas, 2013)

La Figura 5 muestra los niveles de complejidad en computación.

La Evolución de la Super Computación

La super computación que no debe confundirse con la evolución de la computación o evolución de la informática de la informática. Según (Atkins, y otros, 2010) una super computadora es un gran dispositivo que permite realizar enormes cantidades de cantidades de datos a altas velocidades con una alta visualización y forma parte de la llamada *Ciencia*.

Una super computadora es varios ciento de miles de veces mas poderosa que una computadora personal haciendo un diseño de hardware que integren a docenas de miles de veces de procesadores y chips gráficos que deben trabajar uni-

dos en paralelo, de allí el nombre de este tipo de artefactos, pero como si fueran un solo aparato. Super computadores requieren enormes espacios físicos edificios completos, lo cual parece una regresión a las primeras computadoras tipo Von Newman con la diferencia de su enorme poder.

Es la razón de que un supercomputador ocupe cientos de metros cuadrados: básicamente son docenas de miles de PCs, sin monitores ni periféricos, trabajando todos a la vez.

Según (Fernández -González, 2020) La super computación ha tenido dos fases importantes asociadas a la arquitectura de las computadoras. La secuencial que va desde 1943 cuando se construyó Coloso en Inglaterra destinada a descifrar las comunicaciones alemanas en la segunda guerra hasta el año 1966 en el que la empresa control Data construyó la CDC 6600 la cual reino hasta 1969 ya requería un espacio más reducido que sus antecesora, como se muestra en la figura 5. Tenia mas de 156 kilómetros de cables 4,000 transistores, 10 procesadores periféricos,y podía procesar 3 millones de operaciones por segundo.

Figura 5. Supercomputadora CDC 6600



Fuente: (CHM, 2022)

Las primeras computadoras paralelas comenzaron a fabricarse en la década de los sesenta. Tenían procesadores mono vectoriales, memorias de circuito integrado y hasta 16 procesadores (Gengler et al., 1996 citado por Fernández – Gonzales 2020).

En los años 80 se dio inicio a la computación distribuida de manera generalizada y se incrementó la velocidad en 16 veces y la memoria ejemplo de esta época es la supercomputadora CRAY-2

Durante 1990 se crearon nuevos algoritmos que permitían la computación paralela para procesos de estadísticos complicados y un gran numero de imágenes. En cuanto al diseño del hardware se comenzó a observar arquitecturas con anillos múltiples y topología escalable. Por el año de 1998, las supercomputadoras superaron de los gigaflop con 109. En esa década de los años 90 sucedieron dos eventos de gran importancia en la industria de la supercomputación. La Ley Norteamericana de Alto rendimiento en Computación del año 1991 impulso la masiva adquisición de super computadoras en la industria.

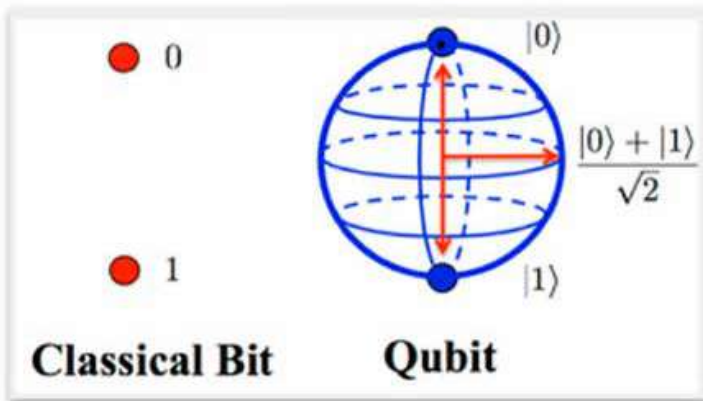
En 1991, el Congreso de los Estados Unidos publicó la Ley HPCA de Computación de Alto Rendimiento (*High Performace Computing Act*, 1991) que permitió el desarrollo de la discos con tera bytes, redes de transmisión de gigabits por segundo

Desde el año 1993 la computación realizó enormes avances, Dan Simón investigador de Microsoft propuso la idea de crear un computador cuántico. Ese mismo año Charles Bennett investigador de IPM descubrió la tele trasportación cuántica sin embargo fue Peter Shor investigador de AT&T en 1995 quien creo el algoritmo que lleva su nombre y que permite calcular los factores primos de números a una velocidad mucho mayor que en cualquier computador tradicional Su algoritmo transformo los sistemas de criptografía utilizados (Shor, 1998).

Inspirado en estas ideas el matemático Vov Grover inventó un algoritmo probabilístico altamente eficiente en la predicción y ya por 1997, se comenzó a usar la criptografía cuántica para trasportar un fotón (una partícula de luz, o un cuanto de energía electromagnética).

Entre 1998 y 1999 diseñó el primer Cubit aplicable a aminoácidos. Esta nueva medida cuya ilustración hemos considero necesario ilustrar aparece en la figura 6, y se trata de un sistema cuántico con dos estados propios y que puede ser manipulado arbitrariamente que es equivalente al bit pero que es un concepto abstracto (Bonillo, 2013).

çFigura 6. Diferencias entre Bit y el Cubit



Fuente : (Martin-Moreno, 2017)

Para comprender su significado de lo que es cuántico se suele recurrir al ejemplo del gato de Schrödinger. La figura 7 este lindo gatito es sometido a un perverso experimento, que consiste en echar un gas venenoso y una partícula radioactiva a la caja cerrada con el gato dentro. La partícula radiactiva tiene una probabilidad del 50% de desintegrarse en un tiempo dado. Lo malo es que solo al abrir la caja, se sabe si el gato está vivo o muerto.

Figura 7. El Gato de Schrödinger



Fuente: (Martin-Moreno, 2017)

Sí este experimento se repite muchas veces aplicando la ley de probabilidades el 50% de las veces el gato la palma. Sin embargo, en mecánica cuántica puede haber una tercera opción y es que es el gato muerto - vivo ya que los estados se pueden superponer. Si el gato está muerto se asigna un valor de “cero” y “uno” a la vez. La aportación de este concepto que parece un juego tonto y sádico supuso un avance extraordinario en la computación porque, se hizo posible hacer muchos cálculos al mismo tiempo, obtener ahorros exponenciales en tiempo de procesamiento y por poner un ejemplo puede dividir en factores un número de 1,000 dígitos a números primos que en las computadoras normales demora millones de años se hace en 20 minutos (Martin-Moreno, 2017).

La evolución de la super computación en los últimos 22 años ha sido descrita por (Bonillo, 2013) (Fernández -González, 2020), lo cual resumiremos de manera sucinta.

En 1998, la Universidad de California (Berkeley) se diseñó la primera máquina de dos cubits. En 1999, en los laboratorios de IBM se creó la primera computadora de tres cubits, capaz de ejecutar el algoritmo de Grover.

Desde año 2000 ha habido mejoras constantes que han permitido aumentar la capacidad de procesamiento medidas en cubit de manera casi aritmética. Se inicia con una super computadora de 7 Cubits, que usó un resonador magnético nuclear. En el año 2001 . Shor inventa un algoritmo que lleva su nombre. Ya para 2005 en la Universidad de Innsbruck construye una supercomputadora de 8 cubit. En el año 2006 en el Instituto Tecnológico de Massachussets crea un sistema de control y su computadora tiene una capacidad de 12 Cubits. Un año después en 2007, la empresa D- Wave System crea una maquina hibrida de 16 cubits que usa mecánica cuántica para resolver problemas. En 2007 en Estados Unidos usando componentes cuánticos y superconductores y desarrollan un “bus cuántico”. En 2008 la prestigiosa Nacional Science Foundation (NSF) consigue almacenar un cubit en el núcleo de un átomo de fósforo, solo dura 1.75 seg pero es un inmenso avance en el almacenamiento.

En 2008 se crea una supercomputadora con una velocidad de petaflop (peta viene de 10 elevando a 15 (1, más 15 ceros) en ingles significa *floating point operations per second*, es decir operaciones en punto flotante por segundo), un millón de veces que la versión anterior. Cuyo sistema tiene 20.000 procesadores más de la supercomputadora de 1998 y dichos procesadores son 50 veces más rápidos.

La tabla 2 ilustra comparativamente lo que es un petaflop, que es equivalente a un billón de operaciones.

Tabla 2. Potencia de una Supercomputadora

kiloFLOPS	1.000 flops	10^3
megaFLOPS	1.000.000 flops	10^6
gigaFLOPS	1.000.000.000 flops	10^9
teraFLOPS	1.000.000.000.000 flops	10^{12}
petaFLOPS	1.000.000.000.000.000 flops	10^{15}
exaFLOPS	1.000.000.000.000.000.000 flops	10^{18}
zettaFLOPS	1.000.000.000.000.000.000.000 flops	10^{21}
yottaFLOPS	1.000.000.000.000.000.000.000.000 flops	10^{24}

Fuente: (Pascual , 2020)

Para ilustrar el avance que habido en la capacidad de computo cabe mencionar que la PlayStation 4, tiene 1,8 Teraflops.

En 2009, Schoelkopf, creador del bus cuántico, crea el primer procesador cuántico de estado sólido. En 2011, la empresa D- Wave System saca al mercado una computadora cuántica a un costo de 10 millones de dólares.

Todas estas supercomputadoras estaba alojadas en instituciones americanas y en Asia, ya que ningún país europeo por sí solo es capaz de competir, por ello en 2012, la Unión Europea consideró que para subsanar el retraso invertiría 1.200 millones para el desarrollo de supercomputadoras Exa – Scale capaces de llegar al estándar de 10^{18} operaciones por segundo.

En 2012, IBM crea el primer chip cuántico. En 2013 D- Wave System que su computadora cuántica tiene n un poder 4,000 veces superiores a las convencionales.

En 2016, IBM la primera supercomputadora de 17 Cubits y en 2019 presenta un su computador híbrido (Tradicional y cuántico) con un poder de 20.

En la Figura 8, ilustra la flamante CES 2019 de IBM Q. Su diseño es preciso y recuerda a un auto deportivo de super lujo ya que es un cubo de vidrio de dos

metros y medio, con un cilindro en su interior. Hay dos puertas al frente para ingresar dentro de ella. Porque requiere un sistema de enfriamiento ya que su chip cuántico necesita mantenerse a -273.14 grados Celsius. Su poder es de 20 Cubits. (IBM, 2019).

Figura 8. Primera Computadora Comercial Modelo CES 2019 el IBM Q System One



Fuente: (IBM, 2019)

Según Yanes (2019), de las primeras cinco supercomputadoras que había en el mundo a fines de 2019, tres se encontraban en Estados Unidos: La Summit ubicada en Tennessee en el Laboratorio Nacional de Energía con 200 petaflops, pesa 36 toneladas, ocupa 500 metros cuadrados, tiene 9,000 ordenadores, 27 mil chips gráficos y una memoria RAM de 2.8 millones de gigabytes. Puede simular explosiones de supernovas, terremotos, puede simular variantes genéticas de enfermedades en distintos tipos de población, el segundo puesto lo ocupaba la *Computadora Sierra* con 94.6 petaflops, dedicada a la investigación militar que simula las consecuencias de explosiones nucleares, la tercera más potente llamada *TaihuLight*, se ubica el centro de super computación de Wuxi . Lo interesante de esta computadora es que no usa tecnología Americana y aunque solo tiene 93 petaflops asociados a 10 millones de procesadores chinos es capaz de simular el nacimiento y la expansión del universo. El cuarto puesto con 61.4 petaflops lo ocupa la *Via láctea 2 A* también en China (Guanzhou) usada para fines militares y el quinto puesto lo ocupa la

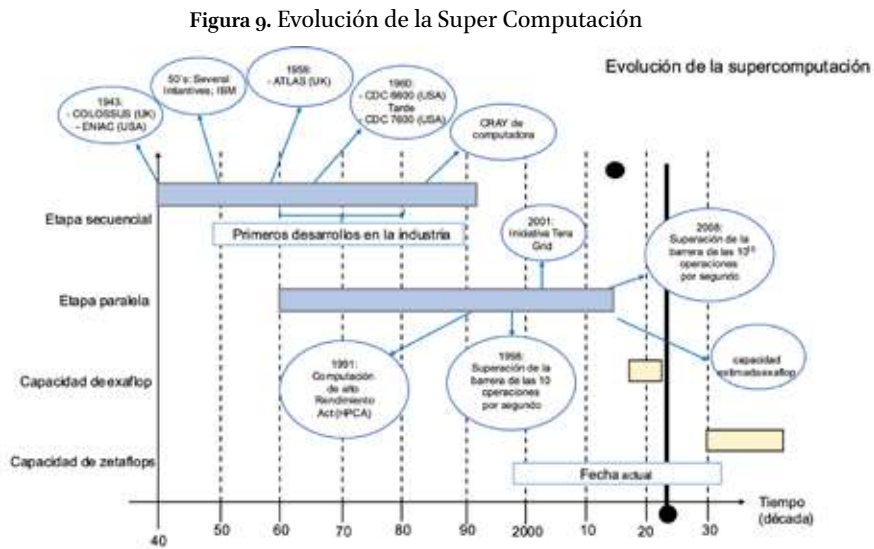
computadora *Frontera* que es la única alojada en una universidad (de Texas) con 23.5 Peta flops la cual se ocupa de simular desastres naturales y otros temas de investigación como agujeros negros, y cambio climático, es interesante mencionar que esta supercomputadora la hizo Dell e Intel (Yanes, 2019).

En el año 2019, IBM crea *Pangaea III* que es la computadora comercial más poderosa y derivado de la emergencia del COVID 19 en el año de 2020 crea el primer Consorcio de Computación de Alto Desempeño destinado a estudiar el virus y sus mutaciones y curas potenciales.

Para 2020, el supercomputador más poderoso estaba en Japón, se llama *Fugaku* con 415.5 petaflop ya duplicaba en un solo año la potencia del SUMIT.

Esta tremenda evolución en cada vez más cortos periodos de tiempo ratifica la Ley de Moore que señala que *cada dos años las capacidades tecnológicas de integración de transmisiones y de consumo de energía se duplican* (Balladini et al., 2010).

La figura 9, ilustra la evolución de la supercomputación apoyada en 4 variables de cambio.



Fuente: traducido de Pascual 2020.

A continuación describiré los conceptos fundamentales que han dado origen a lo que ahora se conoce como Inteligencia artificial, las redes neuronales, el modelo matemático del cerebro, mapas autoorganizados, el Algoritmo de Konen y la construcción del perceptrón.

Los Mapas Autoorganizados (Teuvo Kohnen)

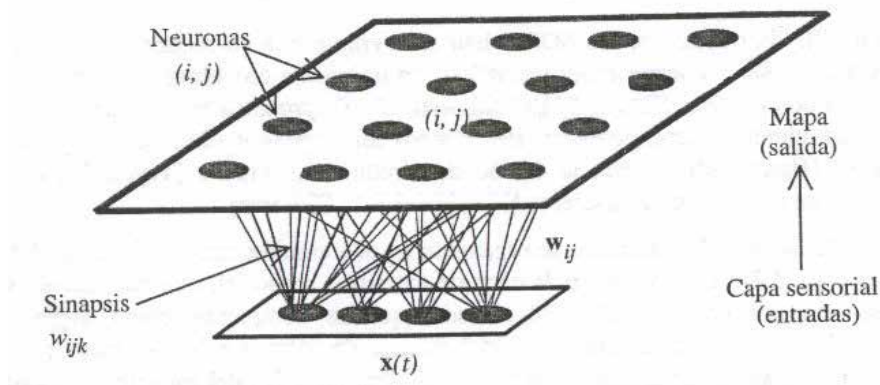
Teuvo Kohen fue el creador de varios conceptos fundamentales en las redes neuronales: el algoritmo LVQ y los mapas auto-organizados mejor conocidos como las redes de Kohonen.

Los mapas auto organizados son una red neuronal artificial conocida por las siglas ANN (Artificial Neuronal Network), creada con un algoritmo que usando criterios de similitud genera un mapa.

..“un mapa auto-organizado está integrado por neuronas. Cada neurona está representada por vector de pesos. La configuración de las neuronas se presenta por simplicidad dos dimensiones, en una rejilla hexagonal o rectangular. Los mapas auto-organizados mapean un espacio de mayor dimensión a uno de menor dimensión. El procedimiento para ubicar un vector del espacio de los datos en el mapa es encontrar la neurona con el vector de pesos más cercano al vector del espacio de los datos. Un mapa auto-organizado tiene múltiples usos: representando cúmulos, para visualizar conceptos, ver la evolución de un conjunto de datos y para organizar datos desconocidos.” (Merelo, 2015).

En la Figura 12, se ilustra un mapa. Como se observa están las neuronas, la sinapsis que es la asociación entre neuronas, las capas sensoriales que son las entradas y el mapa que es la representación de las salidas.

Figura 10. Mapa Auto-organizado



Fuente (Herramientos en GNU/Linux, 2015)

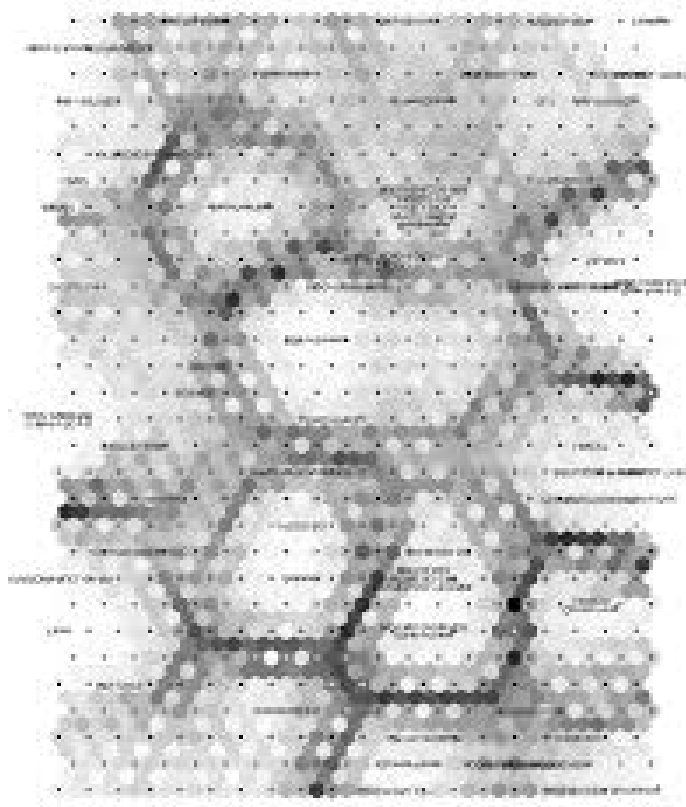
La red tiene dos capas: la primera representa las neuronas de entrada y la segunda ilustra los procesos de sinapsis que suele desarrollar los procesos cognitivos.

Algoritmo de Kohonen

Es un algoritmo de aprendizaje muy usado que puede ser descrito en tres pasos: 1. Asignación de los pesos w_{ijk} . 2. Elección de un patrón de entrenamiento. 3., cálculo para cada neurona del mapa de la distancia euclídea entre el patrón de entrada x y el vector de pesos (Kohonen, 1982).

El Algoritmo de Kohonen se usa para localizar artículos en revistas científicas, con la ventaja de representar un gran número de revistas en un espacio bidimensional. Ver figura 13.

Figura 11. Algoritmo para búsqueda bibliográfica



Fuente: (Reyes, Guerrero, & Zapico, 2014)

Según (Rouhiainen, 2018) "la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones es tal y como lo haría un ser humano."

Una debilidad en la definición de Rouhiaunen es que hay formas de inteligencia que no usan algoritmos sino reglas lógicas. Por ello, podríamos definirla de una manera más clara como: la capacidad que tiene un artefacto (generalmente una computadora) para hacer cosas que imitan la inteligencia humana.

En inteligencia artificial hay varias clasificaciones: Por su proceso analítico que puede ser deductivo o inductivo y que condiciona su amplitud y alcance. La inteligencia artificial general imita las actividades de cerebro, tales como la conciencia, la intuición, o la creatividad. La inteligencia artificial de enfoque, es la propone aplicaciones concretas y es en la que trabajan la mayoría de los expertos en el campo de aplicación de la inteligencia.

La tabla 3, ejemplifica ambos ejemplos.

Tabla 3. Tipo de Inteligencia Artificial

Inteligencia Artificial General	Inteligencia Artificial de Enfoque
Conciencia	Procesamiento del Lenguaje Natural
Voluntad	Planeación Automatizada
Emociones	Sistema basado en el Conocimiento
Intuición	Reconocimiento de Sonidos
Creatividad	Visión Artificial
Comprender conceptos abstractos (poesía, arte música)	Predicción y Reconocimiento de Patrones

Fuente: Observatory of Public Sector Innovation 2020

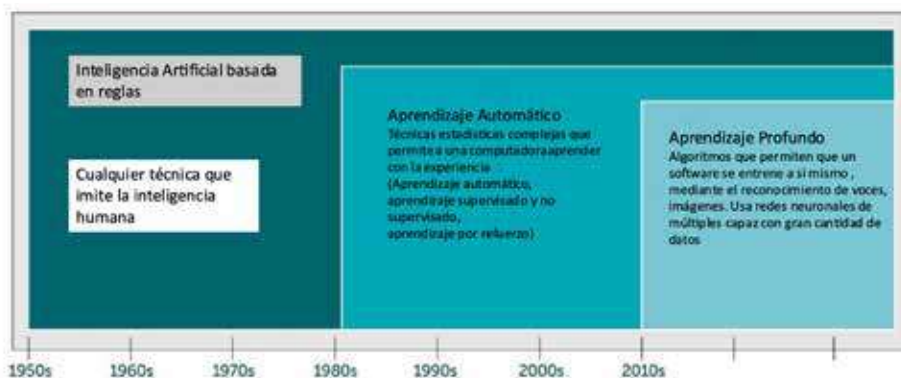
La investigación sobre inteligencia artificial es una de las vanguardias de la ciencia y resulta muy popular, ya que en buena medida todos los seres humanos modernos usamos cotidianamente variedades de ella al hacer uso de nuestros teléfonos inteligentes, al comprar, a ver búsquedas y hacer pagos bancarios.

En la Inteligencia artificial hay tres niveles de profundidad. La más sencilla es la Inteligencia basada en reglas con comandos lógicos del tipo: *Si pasa esto,*

EntoncesLuego tenemos la IA con aprendizaje automático y la más sofisticada de todas que es la *inteligencia artificial profunda que requiere* algoritmos y computadoras de alta capacidad.

La figura 1, ilustra la investigación realizada en últimos 70 años se resume en tres frentes relevantes.

Figura 12. Niveles de Sofisticación Metodológica de la IA



Fuente: OCDE 2022

Estado del arte en la Aplicación de la Inteligencia Artificial

En lo referente a los campos de aplicación. La figura 2 muestra las aplicaciones reportadas en el estado del arte. Este es el modelo que usa la Agencia Neozelandesa de Innovación.

Siguiendo su orientación en el tiempo los primeros desarrollos son la computación neuro formica que es el diseño de la computación de futura generación que diseña el hardware que imita la función del cerebro humano usando chips de silicio. Le sigue el aprendizaje de máquinas, las aplicaciones de seguridad ciber cognitiva, los asistentes robóticos personales, los robots autónomos quirúrgicos, los robots de nubes genéticas,²⁴ los juegos controlados con el pensamiento, los traductores en tiempo real, y las compañías virtuales. Por otro lado destacan los

24. Son los desarrollos de IA, Big Data, y la Nube implantados en un cerebro robótico para la interacción intuitiva con humanos (Callagan Inovations, 2017).

“chabots” que se usan en la administración para atender a clientes y ciudadanos, los procesadores de lenguas naturales de animales y sonidos, el reconocimiento de patrones que usamos los complejos los como uno de nuestra principales preocupaciones, las redes neuronales, el aprendizaje profundo y los sistemas autónomos usados en la industria automotriz para vehículos sin conductor que se usan ya en aeropuertos internacionales en todo el mundo incluido México.

La Universidad más importante de México para estudiar Inteligencia Artificial es el Instituto Politécnico Nacional (IPN) seguido de CINVESTAV que también pertenece al IPN.

Figura 13. Estado del arte en la Aplicación de Inteligencia Artificial



Fuente: (Callagan Inovations, 2017)

Sistemas Autónomos de Transporte

Según Li, Et al (2018), los sistemas de conducción autónoma se iniciaron desde el año de 1980 en la Universidad Carnegie Mellon en los Estados Unidos con vehículos que operaban en contextos estructurados. Otra universidad pionera fue la Buneswehr en Múnich, Alemania que experimentó en autopistas de alta velocidad. En 1994 las empresas UniBW y Daimler- Benz presentaron vehículos capaces de una conducción autónoma en tres carriles con velocidades de hasta 130 Km por hora. En esta fase todavía el sistema requería de la autorización de un humano

abordo. En la actualidad la tecnología de abandono de carril es una realidad en vehículos de alta gama y hay sistemas de abandono mantenimiento en el carril, así como, sistema de control de cruceo desde hace por lo menos una década. En los últimos años también se han universalizado en las marcas de autos premium sistemas de frenado que minimizan las consecuencias de un error humano por fatiga o distracción (Li, Díaz, Morantes, & Dorati, 2018).

Con toda esta tecnología el tren de conducción autónoma que nos asombra tanto cuando viajamos por primera vez en los aeropuertos internacionales, como el que se ilustra en la figura 14, pertenecen a una tecnología totalmente madura. En Japón muchos usuarios del tren bala ignoran que algunos de ellos no tienen conductor.

Figura 14. Tren sin Conductor en Aeropuerto de San Francisco y en el Tren Bala en Tokio



Fuente: <https://blogthinkbig.com/wp-content/uploads/sites/4/2020/01/un-tren-sin-conductor.jpg>

Aprendizaje de Maquina (Machine Learning):

De acuerdo con Godoy. Viera (2017), el aprendizaje de maquina mejor conocido entre expertos por su nombre en inglés *Machine Learning* es un campo de la inteligencia artificial que estudia cómo hacer programas de cómputo que mejoren una tarea con base en la experiencia. Esto supone una serie de decisiones concatenadas que realiza un algoritmo el cual es capaz de aprender con la repetición de eventos. Este tipo de algoritmos son muy usados en la minería de datos donde las regularidades y tendencias pueden pasar desapercibidas para un ser humano pero que pueden ser descubiertas por una máquina (Godoy-Viera, 2017).

Ejemplo de ello son los Algoritmos que hacen sugerencias de películas que pueden gustar con base en tus “me gusta” en NetFlix. O el tipo de videos que sueles ver en You tube. La figura 15 ilustra una lista de sugerencias de Netflix.

Figura 16. Deep Mind Campeona Mundial de Go y Reconocimiento de patrones, (Facebook)



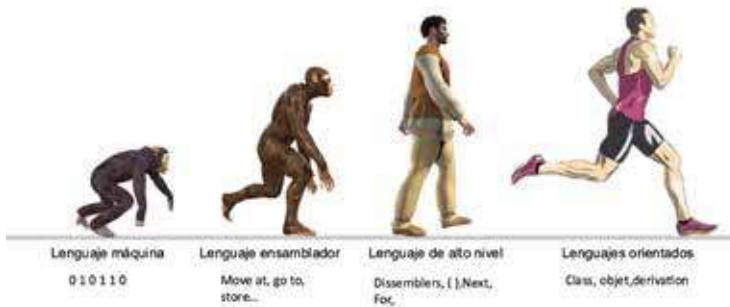
Fuente: Elaboración propia

Procesadores de Lenguaje

Los lenguajes de programación han tenido una evolución vertiginosa en los últimos 50 años. Según menciona (Cueva- Lovello, 1998) los lenguajes de programación pueden clasificar desde tres enfoques distintos: por su grado de independencia con el computador, por la forma de dar instrucciones a la computadora y por generaciones.

En el primer enfoque se distinguen 6 tipos de lenguajes: Lenguaje de máquina, lenguaje ensamblador, lenguajes de medio nivel. Lenguaje orientado a usuarios. Lenguajes orientados a objetos. Los cuales se ilustran en la ilustran en la figura 17.

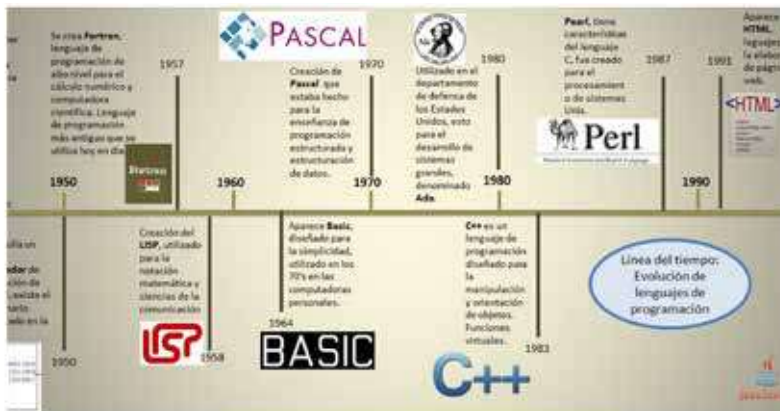
Figura 17. Evolución de los lenguajes de los lenguajes de programación



Elaboración propia a partir de (Cueva- Lovello, 1998).

La mayor parte de los autores coinciden en que el inicio de los lenguajes inicia con la creación de Fortran. La figura 18, ilustra el nacimiento de los lenguajes hasta una primera etapa que termina en 1990. En el año de 1958 se crea Lisp para su uso en matemáticas y en ciencias de la comunicación. En 1964, surge Basic que es el primer lenguaje orientado a computadoras personales. En 1970, se crea Pascal usado en la universidades para la enseñanza de la programación con datos estructurados, En 1980 surge Ada usado en el departamento de Defensa americano y en 1983 se crea el Lenguaje C++ que es el primero orientado a objetos para medio virtuales. La rivalidad creciente entre empresa propicia que en 1987 se cree Perl diseñado para sistemas Unix. En 1991, surge HTML que es el lenguaje usado hasta la fecha para las páginas web. Ver el resumen que aparece en la figura 18.

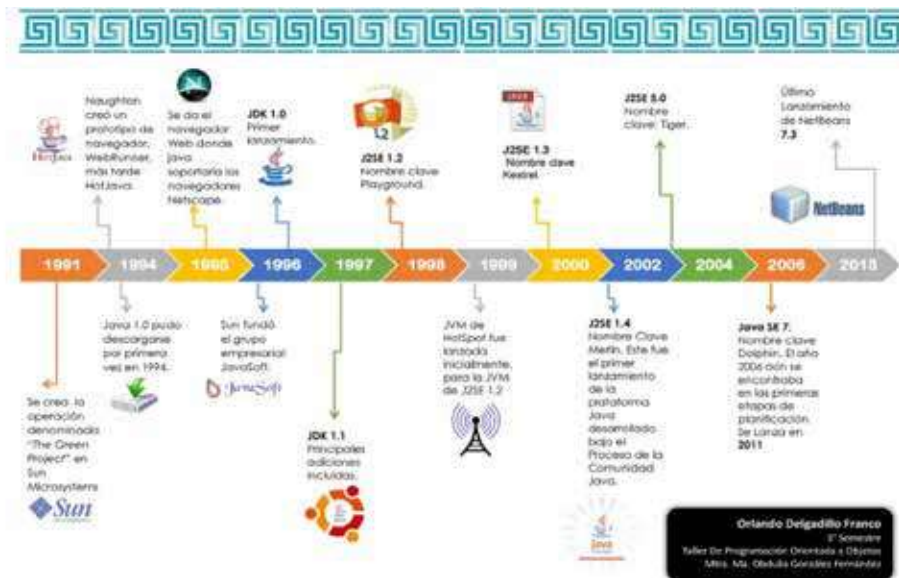
Figura 18. Lenguajes de Programación de 1957 a 1991



<https://portalfofoambriz.blogspot.com/2017/06/evolucion-de-los-lenguajes-de.html>

La segunda etapa va del 1992 a 2013. En 1991 se crea Sun por la empresa Sun Systems dentro del proyecto *Green project*. En 1994 la empresa Naughton crea el navegador Web runner que dio origen a la versión 1.0 de Java. En el año de 1995 que es el año en que se considera la divulgación de uso del correo electrónico se crea el navegador web java que soporta los navegadores de Net scape del grupo Java Soft. En 1996 sale JDR versión 1.0. En 1998, surge J2E 1.2 que es el nombre en clave de *Play Ground*. En 1999 sale la versión 1.3 de J2SE, en 1994, la versión 1.4 y en 2004 la 1.5. En 2006 en sale la versión Java SE 7. En 2013, aparece Net Beans. Lo anterior, se ilustra en la figura 19.

Figura 19. Lenguajes de Programación 1991- 2013



tpsearchtool.com

La tercera etapa se ilustra en la figura ilustra el desarrollo y popularidad de uso a 2021, de los principales lenguaje En el top 6 destaca JavaScript, Seguido de Python, Java, C/ C++ y PHP. Ver figura 20.

Figura 20. Lenguajes más Usados en 2021



<https://www.entrepreneur.com/especiales/dev/herramientas-dev/estos-son-los-10-lenguajes-de-programacion-mas-populares-en-2021/>

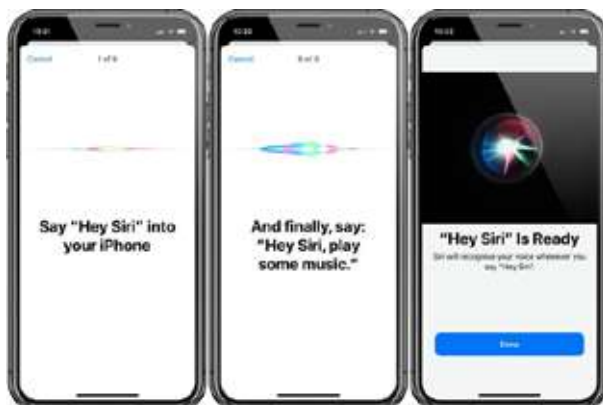
El imperio de los lenguajes de alto nivel tiene diferentes razones dentro de las que destacan: Son más fáciles de aprender, no se necesita conocer la forma en que se colocan los datos, hay una gran variedad de estructuras de control, permiten el diseño modular de los programas y el soporte para la programación orientada a objetos. Esto programas suelen usar sentencias condicionales del tipo IF- THEN-ELSE; Bucles del tipo: FOR, WHILE y REPEAT y Estructuras de bloque BEGI- End.

Los procesadores de lenguaje requieren el uso de lenguaje de alto nivel y son los nombres genéricos que suelen recibir todas las aplicaciones informáticas. En nuestro mundo global hay una gran variedad de procesadores semánticos dentro de los que destacan: los traductores de idiomas, los compiladores, los ensambladores, los montadores de enlace, los intérpretes, los analizadores de rendimiento y los editores entre los más destacados, entre otros muchos. A la mayoría se les conocen mejor por sus nombres en inglés: *Transletors, compilers, assemblers, linkers, interpreters y profilers*.

Los procesadores combinan la inteligencia artificial y la lógica difusa. Uno de los pioneros de los procesadores es Michio Sugeno. Sus estudios han servido a la robótica y contribuido al control de vehículos, usando la voz humana diseñando

sistemas de control difuso. En los años noventa sus aportaciones posibilitaron el surgimiento de aparatos capaces de reconocer hasta 100 palabras en cualquier idioma, incluido el español (Beaumont, 1987). Actualmente los procesadores de lenguaje más avanzados se han vuelto del dominio público: Siri, Alexa, Cortana.

Figura 21. Interacción con un Procesador de Lenguaje



Traductor Universal en Tiempo Real

A diferencia de los traductores disponibles en la web, los traductores universales en tiempo real son cada día más sofisticados y más baratos y tienen el beneficio de se pueden llevar a cualquier sitio.

Esto permite personas de distintas nacionalidades, sin conocer mutuamente sus lenguas, se conozcan y puedan socializar, divertirse, enamorarse o simplemente hacer negocios.

La figura 22, ilustra los traductores de venta en abril de 2023. El más costoso vale unos 90 dólares. Es capaz traducir 138 idiomas en línea y 14 idiomas fuera de línea con una precisión del 98%.

El más económico vale unos 33 dólares. Es capaz de traducir 70 idiomas con precisión del 99 % en las principales lenguas tales como: chino, inglés, español francés, alemán.

La figura 22, ilustra ambos traductores.

Figura 22. Traductores en Tiempo Real.

<p>138 idiomas en línea y 14 idiomas fuera de línea con una precisión del 98%. 90 dólares.</p>	
<p>70 idiomas con precisión del 99 % en las principales lenguas tales como: chino, inglés, español, francés, alemán. 33 dólares</p>	

Fuente: Elaboración propia a partir de búsqueda realizada en Mercado Libre México 2023.

Juegos Controlado por Pensamiento.

Durante los pasados 50 años el estudio neuroanatómico en animales permiten afirmar que existen una compleja organización de sus conexiones cerebrales. Lo los monos macacos por ejemplo se ha probado conexiones intra hemisféricas y si bien solo se ha probado un 10% de conexiones es posible especular que lo mismo ocurre con humanos lo cual supone unas 10,000 vías de distintas procedencias y destinos (Jbabdi, Sotiropoulos, & Haber, 2015).

Dentro de las empresas que más han avanzado en el desarrollo de artefactos de bajo costo al alcance de la población en general es EMOTIV. Su producto más popular se ilustra en la figura 12, donde se muestra la diadema que permite de interfaz de computación cerebral para juegos sociales en tiempo real.

En una investigación de tipo experimental se comparó al EMOTIV con otros dispositivos médicos más costosos se encontró que Emotiv no es un aparato confiable para ser usado en labores de rehabilitación o manejo de prótesis y que esta falta de confiabilidad puede tener consecuencias graves por ello solo se recomendó usar para juegos y sistemas de comunicación. Incluso el Emotiva resulta más costoso si se evalúa sus costos de operación y mantenimiento que un dispositivo médico que time un mayor costo de adquisición (M., Castermans, & Petieau, 2013)

Figura 23. Juegos Controlados por el Pensamiento



Compañeros Virtuales

Esta nueva tecnología consiste en avatares *virtuales* conectados a la nube con motores de inteligencia artificial que interactúan como lo haría un ser humano.

Una de las consecuencias de incremento de la esperanza de vida en todo el mundo es la soledad de los adultos. En los países desarrollados la epidemia de la soledad es particularmente grave al punto que los ancianos se mueren en su casa y nadie los echa de menos hasta que el olor del cuerpo insepulto frecuentemente acostado en su cama o en un sillón alerta a los vecinos.

Este nuevo desafío de nuestra sociedad ha abierto la puerta para acoger con gusto a los llamados compañeros virtuales.

Desde la última década se han creado compañeros virtuales con distintos propósitos: Para realizar ejercicios que mantengan la salud, para tratamiento médico, para salud mental. Para el diseño de dietas y una sana nutrición, como apoyo social. Hay también compañeros de monitoreo, aliento para adultos mayores. En este último campo es el que más éxito social ha habido en ancianos con poca o ninguna familia. Los compañeros virtuales se vuelven entrenadores y consejeros de salud que resultan muy favorables para mejora en la calidad de vida de personas muchas veces solas y enfermas (Jegundo, Dantas, Quintas, & Dutra, 2020)

La figura 24 ilustra dos ejemplos de compañeros visuales. En ambos casos son Avatares femeninos llamado Gloria y Alice, capaces de contar chistes, charlar, recomendar cambio de ropa de vez en cuando, poner música, sugerir series de televisión y películas y motivarte a hacer deporte.

Figura 24. Compañeras Virtuales Gloria y Alice



Fuente: elaboración propia a partir de (Jegundo, et al 2020).

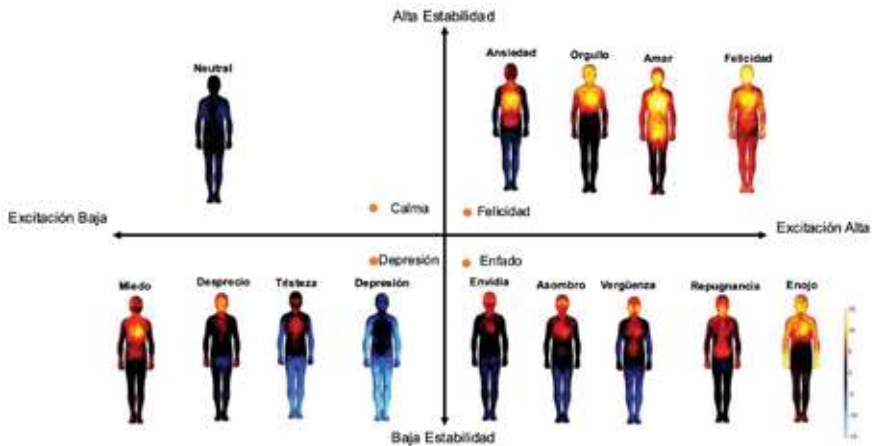
Análisis de Emociones en Tiempo Real

El avance conseguido en el campo del aprendizaje automático que aquí hemos llamado aprendizaje de maquina ha permitido que las computadoras sean capaces de comprender emociones humanas tales como la alegría, la tristeza, la ira o la decepción. El uso exclusivo de las expresiones faciales o incluso de posturas y gestos han demostrado ser no ser productores totalmente fiables ya que hay personas que sabe ocultar sus emociones sobre todo cuando realizan algún examen. Por fortuna, la evaluación de señales periféricas como las neurología periférica y los electroencefalogramas permiten evaluaciones más confiable.

Dentro de las técnicas de análisis de emociones destacan: la dinámica no lineal, los sistemas de clasificación de machine learning las evaluaciones Del vecino más próximo (KNN) los sistemas bayesiano ingenuo, la máquina de soporte vectorial y el bosque aleatorio. (Zhang, Yin, Chen, & Nichele , 2020).

Los sistemas de análisis de emociones usan una matriz de emociones donde las más relevantes son la excitación y el balance psicológico. De esa forma existen cuatro estados posibles: 1) Feliz que es el cuadrante cuando se está en balance y con alta excitación, 2) Calmado y en estado neutral cuando se tiene baja excitación y alto balance y 3) cuando se tiene bajo balance y baja excitación hay varios estados entre los que destacan el miedo, el desprecio por sí mismo, la envidia, la tristeza y la depresión, 4) Cuando se tiene bajo balance y alta excitación los sentimientos se desplazan de la envidia, al asombro, la vergüenza, la repugnancia, que se ilustran en la figura 25.

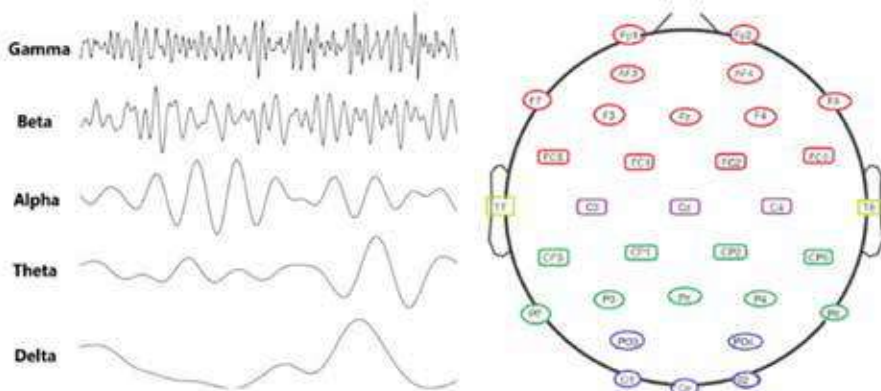
Figura 25. Cuadrante de emociones de Zang- Chen-Nichele.



Fuente: (Zhang, Yin, Chen, & Nichele, 2020)

La figura 26 ilustra la fuente de las mediciones que suele ser el cerebro donde diferentes sensores miden las distintas zonas de interés, y las pulsaciones cardiovasculares de las personas estudiadas midiendo mediante encefalogramas las diversas regiones del cerebro humano, estando las frecuencia que van de las ondas delta de estado relajados a las theta,, Alpha y Gamma, propia de emociones intensas.

Figura 26. Medición de Emociones en Tiempo Real



Fuente: (Zhang, Yin, Chen, & Nichele , 2020)

Dentro el tipo de datos usado y la metodología más usados para el reconocimiento de emociones los sistemas basados en datos masivos audiovisuales con los que mayor precisión presentan seguido de los espectrogramas de imagen basado en lectura facial cuando regresión multidireccional. Como se puede ver en la tabla 4 los lectores de emoción usando solo audio o video son los que más baja precisión ofrecen.

Tabla 4. Grado de Precisión de las Fuentes de Datos y Metodología de Aprendizaje Profundo

Tipo de datos	Método Deep Learning	Precisión [%]	Investigadores
Lectura facial	mel-spectrogram imágenes faciales , cnn para audio, 3 d cnn for video	85.97	Zhang et al. (2017) [160]
Big data de emociones Audio-visual	2 d cnn for speech, 3 d cnn for video, Fusión basada en EIM	99.9	Hossain et al. (2019) [166]
Lectura facial	Audio features, facial features, triple stream DBN	66.54	Jiang et al. (2011) [175]
IEMOCAP; creadores de caras	Selección de rasgos and DBN	70.46–73.78	Kim et al. (2013) [176]
EmotiW 2014	CNN for video, DBN for audio, 'bag of mouth' model, and auto-encoder	47.67	Kahou et al. (2016) [177]
Lectura Facial	Multidirectional regression, SVM	84	Hossain et al. (2016) [178]
Lectura Facial	mdr, ridgelet transform, elm	83.06	Hossain et al. (2016) [179]
Big data de emociones Audio-visual	Rasgos de lenguaje bp features for speech, idp features for face images, Clasificador SVN y	99.8	Hossain et al. (2018) [180]
MAHNOB-HCI	CDBN	58.5	Ranganathan et al. (2016) [181]
EmotiW 2015; CK+	Audio features, caracteres de densidad , CNN extracted features	54.55; 98.47	Kaya et al. (2017) [182]

Fuente: (Zhang, Yin, Chen, & Nichele , 2020).

Robótica en la Nube de Próxima Generación

Los robots como solución tienen limitaciones físicas debido a la capacidad, movilidad energía, así como sus limitaciones de diseño. El hecho que requiera presencialidad es ya una limitación importante. Es por eso que la robótica en la nube ha surgido como una opción que permite que robots remotos conectados a una nube proporcionen mayores capacidades. La robótica en la nube combina comunicaciones entre robots llamadas máquina a máquina (M2M) y una nube que permite la interacción máquina a nube (M2C).

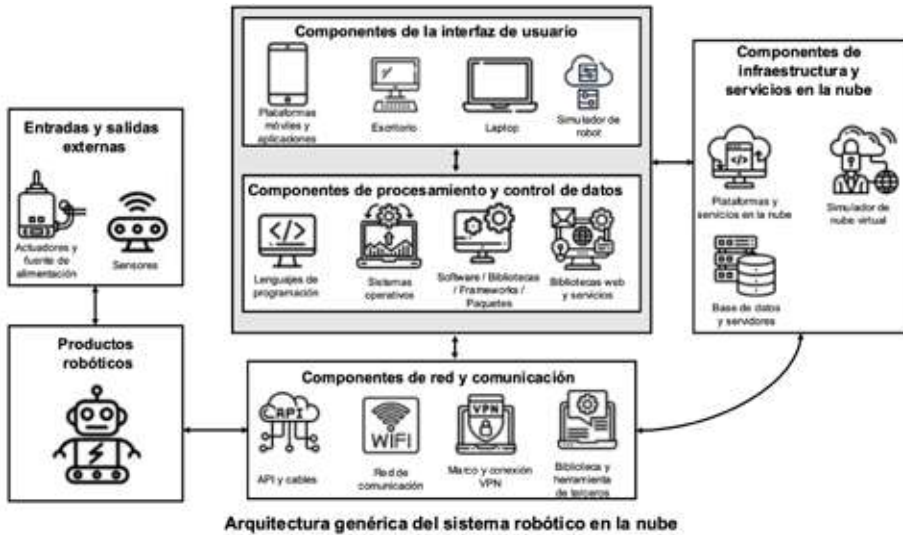
Esto supone arquitecturas de computación elásticas que permiten hacer tareas de manera remota. Esto supone desafíos en distintos campos no solo de computación sino de seguridad y comunicaciones. La robótica en la nube utiliza un

modelo de computación elástico, en el que los recursos se asignan dinámicamente desde un grupo de recursos compartidos en la nube ubicua, para respaldar la descarga de tareas y el intercambio de información en aplicaciones robóticas. Los robots en la nube obligan a usar Big Data, que configura un cerebro robótico que colabora con humanos.

La revisión del estado del arte en el tema realizada por Dawarka & Bekaro (2020) a 44 investigaciones sobre la Robótica en la nube indica que son ocho los componentes fundamentales de una arquitectura de robótica en la nube: 1) Infraestructura y servicios de la nube (61.4%) 2) Robot (61.4%). 3) Instrumentos de infraccionan y operación, tales como Sensores y Actuadores (25%). Protocolos de comunicación con la nube y protocolos VPN (25%). Procesamiento de datos (25%). Arquitectura orientada a los servicios (SOA) y Servidores (22.7%), Componentes Web, herramientas y librerías (20.5%), Aplicaciones móviles 11.4% y Simulación virtual 11.4% (Dawarka & Bekaro, 2022).

La figura 27, ilustra el modelo general de robótica en la nube. Se distinguen dos actores centrales que son los componentes de la interfaz del usuario que pueden ser al menos de cuatro tipos: Plataformas móviles, comparadoras de escritorio, computadoras portátiles, y simuladores de red. Estos dispositivos están vinculados a los componentes del procesamiento y control de datos que pueden ser lenguajes de programación, sistemas operativos, software. bibliotecas, frameworks y paquetes que interactúan simultáneamente tanto con componentes de la infraestructura y servicios de la nube tales como: plataformas de servicio, simuladores y bases de datos.

Figura 27. Componentes Básicos de la Robótica en la Nube



Fuente: (Dawarka & Bekaro, 2022).

Robótica Quirúrgica Autónoma

La Robótica Quirúrgica es otra vanguardia en la medicina que ha tenido una rápida expansión impulsada por las Plataformas de Inteligencia Artificial que apoyan a eminencias médicas y hacen uso robots para realizar intervenciones quirúrgicas integrando el aprendizaje de grandes conjuntos de datos históricos.

Los tres vectores más importantes que impulsado esta modalidad de la inteligencia artificial han sido el desarrollo de los protocolos de cirugía a control remoto, la evolución de las cirugías de invasión mínima y la cirugía que no requiere la intervención humana (Castillo & Vidal , 2012).

El primer robot quirúrgico autorizado para operar por la FDA Americana fue el Sistema Quirúrgico Da Vinci en el año 2000, autorizado para intervenciones del útero femenino (histerectomía) cuya intervención es muy frágil a los errores médicos. El dominio ejercido por este primer robot ha limitado la aparición de otros sistemas y su uso ha sido dominante en las dos primeras décadas del siglo XXI. Esta situación esta por cambiar al vencer las patentes y con ello es de esperar que el costo disminuya y empiecen a parecer sistemas mas eficientes y de menor costo que extiendan la cirugía robótica.

El sistema robótico y su caudal de información puede decidir si se debe llevarse a cabo la extirpación completa de todo el útero, el fondo y el cuello uterino, o decidir preservar el cuello identificando los patrones que revela la laparoscopia. Esta operación es muy frecuente en mujeres ya que su recomendación se debe a diversas razones entre las que destacan: los abortos mal practicados, los pólipos y fibromas uterinos, los desgarros realizados de manera involuntaria durante el parto y el cáncer de útero, ovarios o trompas entre otros (HERS Foudation, 2023).

Para poder llevar a cabo con éxito una intervención quirúrgica robótica se requiere tres elementos necesarios: 1) La consola de mando que es el centro estratégico desde opera el cirujano, 2) una Torre de Laparoscopia que maximiza la visualización del médico y del equipo quirúrgico y 3) el brazo robótico que el instrumento remoto que atiende la órdenes del médico la actuales se ilustran en la figura 28.

Figura 28. Dispositivos para la Cirugía Robótica



Fuente: (Mexiquene, 2021), (Biotecno, 2023). (Barroso , 2018)

Entre los beneficios de la cirugía robótica destacan: Una reducción del riesgo de infección, al tratarse de sistema invasivos mínimos las cicatrices son más pequeñas, Aunque no son baratas las cirugías por la alta especialización y costo de los equipos, las estancias hospitalarias son menores, lo cual supone un regreso más rápido de los enfermos a sus actividades . Otro aspecto muy positivo es que elimina cualquier posible temblor de un cirujano. Así mismo, la visualización laparoscópica del órgano afectado es compartida por todo el equipo quirúrgico a en

tercera dimensión. Aunque los críticos del sistema dicen que es mentira que sea un robot ya que depende totalmente de las órdenes del cirujano y que más que un robot es un bisturí muy costoso y especializado, lo cierto es que ofrece un mayor alcance de movimientos, ya que los brazos del robot pueden rotar hasta 360°.y con ello acceder a las cavidades más recónditas.

La Cirugía robótica tiene aún muy pocos especialistas solo existen 44,000 cirujanos certificados en su uso. Las cirugías practicadas se han enfocado solo a algunos órganos de cuerpo humano, entre las que destacan la prostatectomía radical, nefrectomía parcial en el campo de la Urología. La histerectomía, y los tumores de útero en Oncología. Las cirugías de colon y recto, cirugía del tercio inferior del esófago en la Cirugía General y en operaciones de corazón en la reparación de válvulas tricúspide y mitral y en la colocación de bypass entre otras (Revista de Robots, 2021).

Según Toro (2019) había en ese año, unas 3,000 máquinas robótica en el mundo, en España unas 100 y en México 12. La mayoría concentradas en la Ciudad de México. Los robots quirúrgicos más comunes son los Da Vinci cuyo costo varía entre 1.5 y 2.5 millones de euros. Además hay que calcular unos 140,000 euros en mantenimiento (Toro, 2020).

Aunque se hacen grandes apologías sobre la precisión después de 23 años de uso de robots quirúrgicos, aún grandes cirujanos desconfinan de ellos y son escépticos sobre sus bondades ya que la calidad de los modelos de inteligencia artificial depende de la cantidad y variedad de los datos suministrados en cada operación.

Una investigación realizada en 10 años la cual comparó las cirugías robóticas versus cirugías con laparoscopia, no mostró diferencias significativas en la rapidez de la recuperación que suele mencionada por los promotores del uso de robots. Incluso la investigación descubrió que los pacientes operados permanecían *más días en recuperación*. Esta investigación incluyo casos de Cirugía General, Cardiología, Ginecología, Urología y Otorrino.

“La duración promedio de la estadía para los casos robóticos fue de 3,3 días, en comparación con 3,0 días para laparoscópicos y 7,0 para la cirugía libre. ...(...) Los reingresos después de casos robóticos fueron más bajos que los abiertos (15 % frente a 26 %) “ Los costos de la cirugía robótica fuer 1.5 mayor que la cirugía laparoscópica “ (Stringfield , Parry , Eisenstein, & Horgan , 2022).

En otra meta investigación que estudió los resultados de 4,898 pacientes operados con cirugía robótica en 50 artículos con evidencia empírica basa en opera-

ciones realizadas con robots . Solo en el 10% de los casos que reportaron menos complicaciones en la cirugía asistida por robot. El 90% de los estudios no mostraron diferencias en las complicaciones intraoperatorias, las tasas de conversión y los resultados a largo plazo. Es sentido contrario a lo que se afirma en los beneficios la duración de la cirugía robótica es más larga que la laparoscopia, e incluso no se diferencia la cirugía abierta (Zhang, Li, Lin, & Wei, 2022).

Lo anterior da pocos incentivos -de momento - para elegir una cirugía robótica versus una laparoscópica aun cuando a uno le sobre el dinero.

Computación Neuro Mórfica

Los sistemas neuro mórfico son sistemas de computación que imitan lo que hacen las neuronas humanas en un cerebro. Esta emulación hace que el hardware resultante tenga un tamaño reducido ya que la memoria y el procesador se colocan en una misma unidad.

Dicho Hardware imita al cerebro humano usando chips de silicio y con ellos los sistema son más rápido y eficaces.

Este avance de la inteligencia artificial no es fácil de comprender ni de explicar ya que integra conocimientos de la física d estado sólido de la electrónica y la óptica.

Escribir sobre computación también no es fácil siempre va uno detrás de la realidad.

Se acuerdo a la Ley de Moore el número de transistores en los procesadores de los ordenadores actuales se duplica cada dos años.

Los primeros modelos de computación neuro formica fueron propuesto por Mead al final de la década de los 80 buscando mejora la tecnología VLSI (*Very Large Scale Integration*), que consiste en incluir millones de transistores MOS en un chip. C. La inspiración de Mead fueron las neuronas humanas cuyo cerebro no supera los 1200 centímetros cúbicos que componen dicha red. En la investigación neuronal hay dos grandes campos de estudio: el desarrollo de software y el de Hardware ambos inspirados en la emulación del cerebro humano.

En un sistema biológico las neuronas tienen dos roles que se busca imitar. Unos llamados Neurositores. Que son chips de compartimiento cambiante en función del umbral de voltaje y que pueden tener un comportamiento aislante cuando la resistividad se vuelve alta o metálico con una resistividad baja.

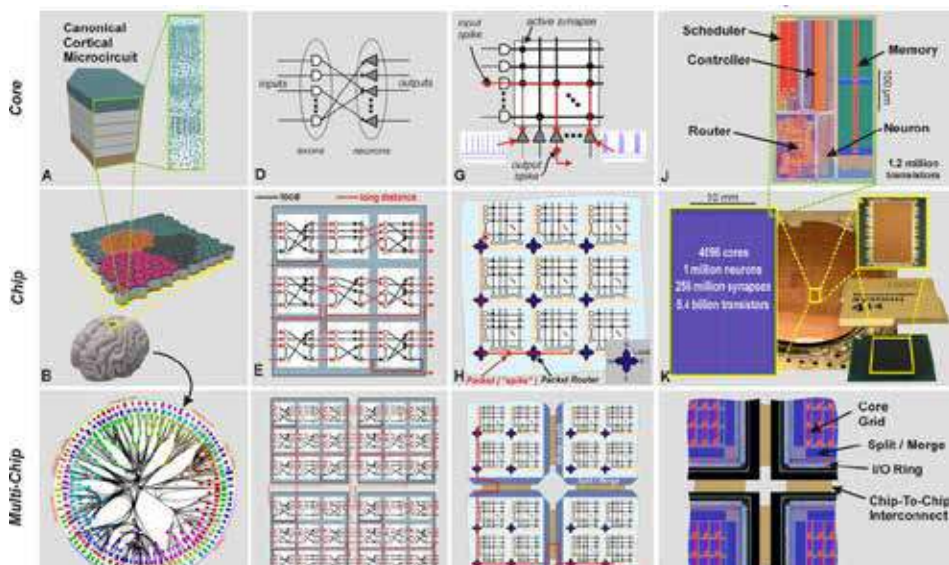
El otro rol son los *Sinaptos*: que facilitan la conectividad con los Neurositores (Arribas- Fernandez, 2019)

Estos cambios permiten emular lo que hace una neurona en el cerebro lo cual está asociado a su capacidad de aprender.

En la figura 29 se ilustra el proyecto de cerebro humano desarrollado por IBM.

Mediante su chip llamado *TrueNorth*. Cuyo logro mereció un artículo en Science ya que este chip puede procesar grandes volúmenes de datos con una potencia mínima. Según IBM esta invención es una buena emulación del cerebro humano. A pesar de tener 5,400 millones de transistores, gasta 70 mili vatios de energía, mucho menos que un microprocesador. Por si fuera poco, el chip es capaz de calcular datos sensoriales que incluyen imágenes, sonido e incluso olores.

Figura 29. Interacciones chip – Multichip y Dispositivo



Fuente: (Aply SCI , 2014)

Bot conversacionales (Chatbot)

El termino fue propuesto por Michael Mauldin en 1997 y era originalmente “chatterbot” pero su uso y facilidad degeneró en el actual “chatbot”. En la actuali-

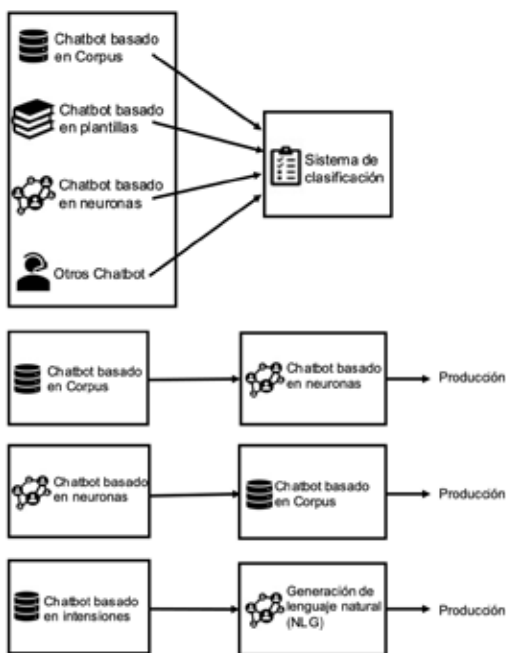
dad se usa indistintamente para denominan a agente conversacional, sistemas de dialogo, interfases conversacionales, agente y asistentes virtuales.

En una revisión del estado del arte realizada por (Luo, Lau, & Si, 2022) proponen una clasificación en 6 categorías usando el criterio del diseño computacional de su arquitectura que son: 1) chatbot basados en plantillas, 2) chatbot basados en corpus 3) chatbot basado en intenciones 4) chatbot basado en redes neuronales recurrentes (RNN) 5) Chatbot basados en Aprendizaje de Refuerzo (RL). 6) Chatbot con enfoques híbridos. 6)

La diferencia y poder de los chatbot asociado a su capacidad de aprendizaje vinculada a su tecnología de procesamiento de lenguaje naturales conocidas por sus siglas en inglés como NLP.

La figura 30 resume los chatbots dependiendo de su arquitectura de diseño

Figura 30. Tipología de Chatbot dependiendo de su arquitectura



Fuente: (Luo, Lau, & Si, 2022)

Por lo que se refiere al tipo de usos que se le dan a los chatbots, Lou et al (2022) también distinguen seis tipos de aplicaciones: 1) inteligencia al servicio del consumidor para *ecommerce*. Suelen proporcionar información detallada de productos

y servicios para mejorar la experiencia de compra 2) chatbot para asistencia personal. Permiten facilitar tarea de la vida diaria, hacer recordatorios, enviar mensajes, e incluso comprar boletos 3) sistemas financieros de dialogo. Proporcionan información más detallada sobre productos financieros más complejos 4) chatbots para el cuidado de la salud. Se usan para facilitar el diagnóstico de enfermedades y pueden ofrecer valiosa información para el tratamiento. 5) Servicios de consultoría virtual. Se usan con mucho éxito para diagnosticar y atender a problemas mentales tales como la intención de suicidio, la depresión y el autismo y 6) chatbot de aprendizaje pedagógico. Suelen ser útiles para aprender idiomas, ayudar a resolver problemas sencillos de física y química a nivel secundaria e incluso para estimular la participación de un grupo y formar equipo de trabajo.

Los hallazgos resultados de su revisión panorámica muestran que los chatbot para servicio al cliente, influyen y dan confianza del consumidor, mejoran la percepción de la marca. Y aumentan la seguridad percibida según Yen and Chiang (2021) Nordheim et al. (2019), Folstad et al. (2018) Kocaballi et al. (2020).

Los chatbot de salud mental son más empáticos y pueden aliviar los impactos negativos de las redes sociales exclusión, reducen la ansiedad, facilitan un menor manejo del stress, y reducen la soledad de Gennaro et al. (2020), Greer et al. (2019), Shamekhi et al. (2017), Suganuma et al. (2018), Fitzpatrick et al. (2017), Ta et al. (2019)

En los chatbot pedagógicos el aprendizaje es mayor cuando los estudiantes pueden comunicarse con chatbots y mejora positivamente los resultados del aprendizaje Tegos et al. (2015). Finalmente, en los chat bots dedicados a la salud los grupos intervenidos por chatbots beben menos alcohol y consumen más frutas, ayudan a mantener un estilo de vida saludable y controlan mejor el estrés. Proporcionar respuestas satisfactorias sobre el cáncer de mama y funcionar también como los médicos Además pueden como concertar citas y proporcionar información médica, pero son débiles en el diagnóstico y la comunicación emocional. Gardiner et al. (2017), Perski et al. (2019), Felipe et al. (2020), Bibault et al. (2019), Nadarzynski et al. (2019), Palanica et al. (2019).

Una cosa que ha dejar en claro es que los chatbot no usan ninguna técnica de gestión del conocimiento y no piensan en realidad. Interactúan con los humanos con base en respuestas típicas predefinidas por unas bases de respuestas predefinidas. La calidad del chatbot por lo tanto está en función de la calidad de su entrenamiento y del acervo de respuestas de sus archivos.

Una definición descarnada de un chat bots podría ser. *Es un Robot de software que interactúa con humanos en línea, recibiendo y enviando texto conversacional.*

Chats Transformador con Entrenamiento Generativo Chat GPT

Chat GPT Este es el nombre de este chatbot ha causado furor en el mundo por su increíble capacidad de generar conocimiento único. Fue creado por la empresa Open IA la cual tomo la radical decisión de ofrecerlo de manera gratuita. El chat time ya cuatro versiones cada una con más capacidad y más perfecta. Fue creado usando una ingente cantidad de textos en internet e imágenes. Impresiona su rapidez y originalidad, así como su capacidad conversacional generando respuestas similares a las que podría escribir un ser humano piezas irrepetibles de escritura creativa.

Lo que ha diferenciado a este chat es que recibió un entrenamiento intensivo que le permite proporcionar respuestas sofisticadas en comparación con otros chats. Su arquitectura es también muy avanzada ya que usa bloques transformadores y mecanismos de auto referencia que genera textos de notable calidad. Asi mismo su velocidad de respuesta en tiempo real nos hace difícil de creer que no fue hecha por una persona. Las primeras versiones eran sólo en ingles, pero ahora ya se ofrece en 15 idiomas.

Dentro de las ventajas que hacen la diferencia con los otros chats que hemos descrito cabe destaca la alta calidad de sus respuestas.

Resultados de alta calidad: el modelo genera texto que a menudo es difícil de distinguir del texto escrito por un ser humano, debido a su entrenamiento avanzado y arquitectura sofisticada. Su potencial de aplicación se había pensado para la atención del clientes traducción de idiomas, pero se ha descubierto que puedes ser un creador de textos originales que ha aprobado examen de selección en universidades de calidad lo que crea preocupación en la comunidad académica por su capacidad de engañar a los software detectores de similitud y plagio racionales.

La figura 31 ilustra una solicitud típica del chat. En ella se hace una pregunta breve: ¿Porque los árboles son verdes?

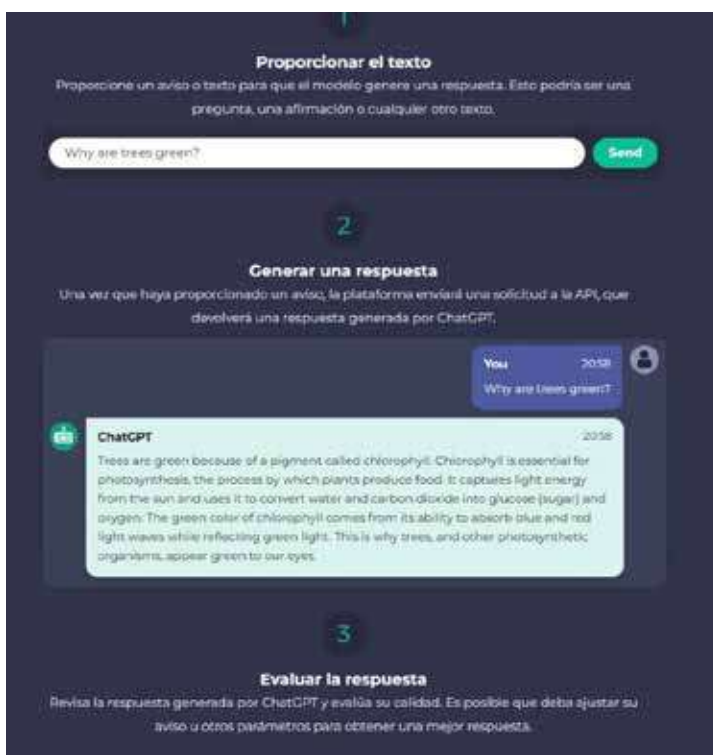
Las respuestas son también siempre textos. Responde: *“son verdes por un pigmento llamado Chlorophyll el cual es esencial para la fotosíntesis, El Chlorophyll es esencial para la fotosíntesis”... (..)*

Esta pregunta, aunque aparece en la página de OPENIA en español no es distinta a lo que podría hacer incluso mejor Wikipendia, sin embargo, la diferencia es que puede contestar

Preguntas sobre temas difíciles que un humano con educación universitaria tendría dificultades en responder tales como . ¿Cuál es el sentido de la vida?

La extraordinaria publicidad que ha recibido ha hecho que el sistema colapse en mayo de 2023 y solo recibiré una cantidad máxima de solicitudes y después deja de servir en su versión gratuita.

Figura 31. Proceso de consulta al CHAT GPT

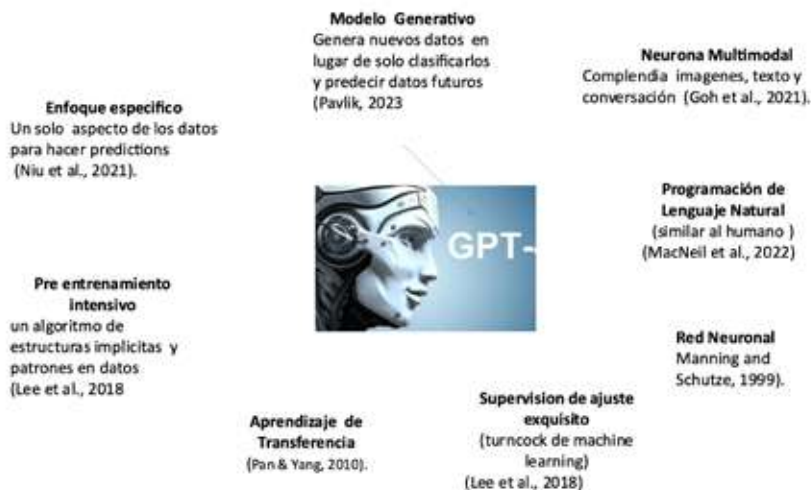


Fuente: (OPENAI, 2023)

Desde el punto de vista de su diseño el Chat GPT tiene las siguientes características que lo hacen singular: Enfoque Especifico, Modelo Generativo de datos, Neuronas multimodales que le permite procesar textos, imágenes y conversaciones. Programación en lengua natural que le permite entender con claridad la manera como hablan los humanos y contestar de igual modo. Red neuronal que le

permite aprender cada vez más. Supervisión de ajuste exquisito. Aprendizaje de transferencia, Pre entrenamiento intensivo con algoritmos de estructura implícita. La figura 32 ilustra estas características y las fuentes citadas por Lund & Wang (2023) lo describen.

Figura 32. Características de Diseño del Chat GPT



Fuente: (Lund & Wang, 2023)

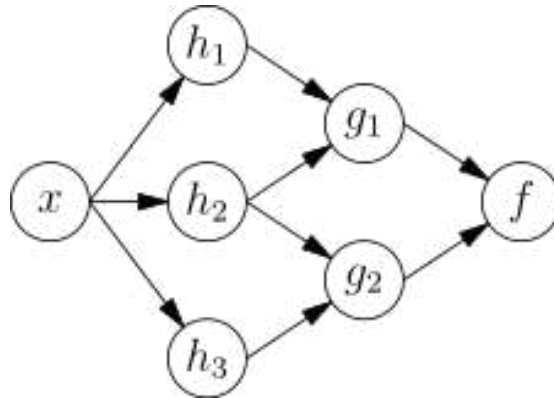
Redes Neuronales

Las redes neuronales artificiales pretenden imitar las redes neuronales biológicas de los animales con un énfasis en su cerebro. Descritas generalmente con un gran número de entradas que simulan las “neuronas” interconectadas entre sí. El término “red neuronal” ha sido usado en múltiples campos tales como: la estadística, la psicología cognitiva y la inteligencia artificial (Rumelhart & McClelland, 1986).

Un red neuronal se considera un sistema complejos porque presentan sus características básicas: no-linealidad, emergencia y adaptación dinámica que generen patrones colectivos.

Las redes neuronales han recurrido a un viejo truco que es muy común en las ciencias naturales. Reducir la realidad a su unidad más básica en este caso una neurona, la cual se representan mediante flechas que describen relaciones de dependencia entre variables, tal como lo muestra la Figura 33.

Figura 33. Red Neural Dependiente



Fuente: (Rumelhart & McClelland, 1986)

En la actualidad las redes neuronales se usan para detectar patrones, diseñar robots manipuladores. En la industria automotriz permiten simular la proyección de las trayectorias, la estimación de autonomía y en los sistemas de reconocimiento de voz le ordenan a la computadora de los auto premium localizar una dirección, hacer una llamada telefónica o encontrar una gasolinera.

En los teléfonos Iphone, permite el ingreso con reconocimiento facial y la comunicación con Siri o Alexa para darle ordenes de actividades sencillas. Tales como apagar las luces, poner música, regular el aire acondicionado. En la gestion del correo electrónico, identificar el spam y los correos maliciosos. En medicina se usan para diagnosticar ciertos tipos de cáncer muy comunes que siguen un patrón de evolución definido tales como el cáncer de pulmón, el de mama o el de próstata (Werbos, 1975).

Modelo matemático de las redes neuronales (Walter Pitts & Warren McCulloch)

Este modelo fue creado en colaboración por un par de científicos cuyos talentos se completaban. El primero de ellos Walter Pitts fue uno de esos genios que solo puede crecer en un país como Estados Unidos. Este científico americano rompió todos los paradigmas para su época sobre todo considerando el campo del saber que eligió. Asombrosamente nunca se inscribió formalmente en ninguna universidad ni obtuvo título alguno, sin embargo su amistad con Warren McCulloch le permitió confraternizar con grandes científicos que vieron en él a un genio. Auto aprendió lógica y matemáticas, leía con fluidez en varios idiomas, incluyendo griego y latín. Con tan solo 12 años leyó el libro de Newton Principia

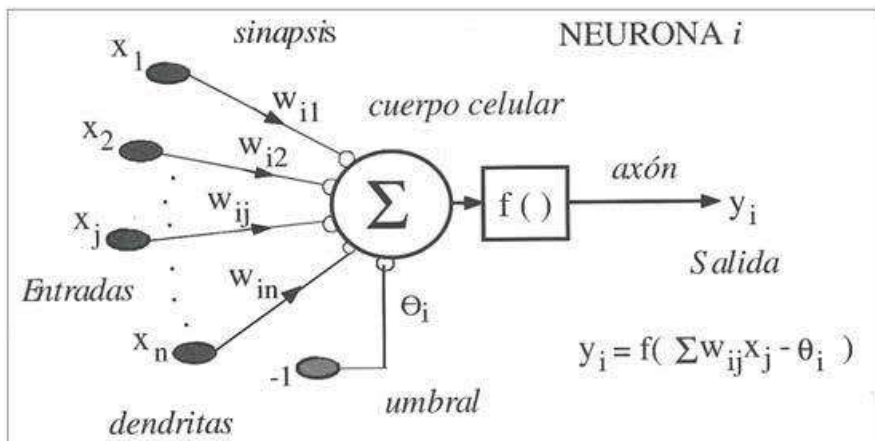
Mathematica en tres días y escribió un análisis crítico a Bertrand Russell de quién fue estudiante informal. Como había ocurrido con Michael Faraday décadas atrás, la cercanía con los científicos más emblemáticos del mundo le permitió proponer su modelo de redes neuronales que impacto no solo a la ciencias de la computación sino incluso a las ciencias sociales tradicionales sentando las bases de las redes neuronales artificiales, la cibernética y la inteligencia artificial. Su modelo caracterizo a una simple neurona, estrategia metodológica que sigue siendo el estándar de los modelos más vanguardistas. El modelo también se llama Neurona de McCulloch-Pitts (McCulloch & Pitts, 1943).

Pitts fue uno de los primeros científicos del siglo XX en integrar en su espectacular inteligencia, las vanguardias de física, química, matemáticas, filosofía y biología a pesar de no tener título ni de bachiller. Pese a estar en la cumbre de la ciencia de su tiempo nunca acepto ser Doctor honoris Causa.

Como suele ocurrir con los genios Pitts murió solo y joven con tan solo 46 años por varices esofágicas asociadas a su consumo inmoderado de alcohol (Kenneth, 1991).

El modelo uní neroniano se muestra en la Figura 34. El modelo tiene tres componentes principales: Un conjunto de entradas, unos pesos sinápticos y una regla de propagación. La más común de las cuales es la función de activación que representa tanto la salida de la neurona como el inicio de su activación.

Figura 34. Red Neuronal



Fuente: (CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE REDES NEURONALES, 2015)

Según este modelo las neuronas funcionan como *dispositivos boléanos*. Este enfoque fue criticado por los expertos en biología, sin embargo explica satisfactoriamente la función lineal representada por la unión que existen en la neuronas llamada sinapsis. Al aumentar la agregación de información representada por la letra Sigma, el sistema se va sofisticando de manera que con la iteración creciente, representa adecuadamente las funciones no lineales que hacen las neuronas.

Warren McCulloch, el otro coautor del modelo no era un genio como Pitts pero su alta posición social le permitió una formación transdisciplinaria que le hizo comprender el funcionamiento del cerebro, su actividad nerviosa (1943) y la manera que gestiona las percepciones visuales y auditivas (1947). La modelización matemática del cerebro le permitió crear un programa que simulaba una red finita de neuronas convencionales.

Tuvo la fortuna de conocer a Turing, quién luego de escucharlo, le pareció un charlatán ya que pese a su genio matemático de Turing adolecía de la formación transdisciplinaria y los alcances intelectuales de McCulloch.

McCulloch tuvo la fortuna de tener estudiantes excepcionales además de Pitts. Maturana el coautor del concepto de autopoiesis fue también su alumno y con él estudió el sistema visual de las ranas, y descubrieron que su ojo no sólo trasmite imágenes sino que aporta información organizada e interpretada al cerebro. Stafford Beer, también fue uno de sus estudiantes.

La erudición y los intereses intelectuales de McCulloch le permitieron ver en el jovencísimo Pitts al genio que le ayudaría a desarrollar el modelo. Cuando se conocieron Pitts tenía 18 años y no tenía ni trabajo ni casa, pero un cerebro excepcional. A la sazón McCulloch tenía 42 años y desde entonces siempre estuvieron vinculados anímica, intelectual y afectivamente, además que ambos fueron adoradores del dios Baco.

La Figura 35 se muestra un cerebro humano que ha sido la fuente de inspiración de los estudios de la inteligencia artificial. No deja de ser una arrogancia que los experimentos iniciales de los precursores de las redes neuronales fueron realizados con unas decenas de “neuronas” cuando el cerebro humano tiene unos 100 mil millones de neuronas. Pese a su enorme son muy frágiles- Un derrame cerebral puede matar a 600 mil neuronas en un minuto. Aunque las neuronas mueren todo el tiempo también la personas adultas pueden regenerar sus neuronas mediante un mecanismo llamado neurogénesis hipocampal. Las únicas personas que no pueden realizar este proceso son aquellas que tiene enfermedades como el Alzheimer.

Figura 35. Cerebro Humano



Fuente: (Sanchez, 2015)

Evolución de las Redes Neuronales

Haciendo un corte hasta los modelos de redes neuronales artificiales aparecidos en la primera década del siglo XXI, según (Ramirez & Chacon, 2011) hay nueve tipos: Redes de resonancia adaptiva, Red neuronal celular, Perceptrón de Frank Rosenblatt, Red neuronal oscilatoria, Red neuronal pulso- acoplada, Red neuronal recurrentes, Redes neuronales probabilísticas, Red neuronal de funciones radiales y los mapas auto organizados de Kohonen.

De todas estas redes sólo explicaremos el perceptrón de Rosenblatt, las redes de Mapas Autoorganizados (Teuvo Kohnen) y el algoritmo de Kohnen .

El perceptrón (Frank Rosenblatt)

Un Perceptrón, es un dispositivo electrónico que fue construido de acuerdo con los principios biológicos con capacidad de aprender creado por Frank Rosenblatt en el Laboratorio Cornell , el cual se ilustra en la figura 36. Este aparato es una red neuronal que simula los procesos de pensamiento humano. Al Mark I se le considera el precursor de la inteligencia artificial.

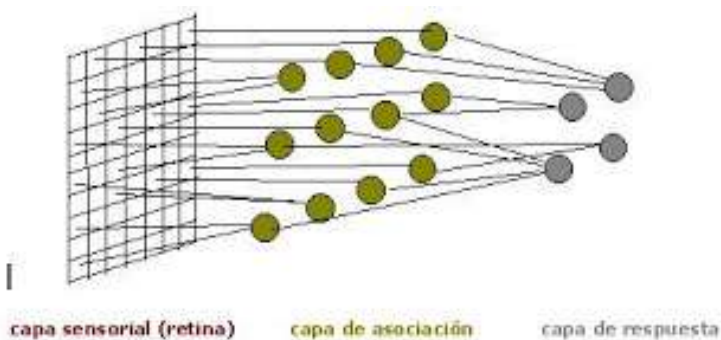
Figura 36. Rosenblatt Inventor del Perceptrón



Fuente: (Rosenblatt's Contributions, 2011)

Rosenblatt fue un crítico del enfoque de McCulloch y Pitts y su uso de la lógica simbólica proponiendo en su lugar “perceptrones” los cuales podían cambiar sus conexiones cuando las respuestas de la red neuronal fueran incorrectas. En la Figura 37 se ilustra tres capas que articulan alrededor de un Perceptrón. (Rosenblatt's Contributions, 2011). Los modelos de inteligencia articulan se basan en esta lógica.

Figura 37. Figura de un Perceptrón



Fuente: (Inteligencia Artificial, 2010)

Como se ilustra en la Figura 15, un perceptrón está integrado por: capa sensorial, capa de asociación y capa de respuesta. El perceptrón puede utilizarse con

otros perceptrones u otro tipo de neurona artificial, para formar redes neuronales más complicadas (Rosenbaltt, 1958).

..“la unidad más simple de un modelo biológico y de un perceptrón es una neurona y su modelo matemático más simple de una neurona es un perceptrón. (...) Una neurona sola y aislada no tiene de razón de ser. El axón de una neurona que entrega información como “señal de entrada” a una dendrita de otra neurona y así sucesivamente” (Rosenbaltt, 1958).

En las redes neuronales más reciente que usa el perceptrón como inspiración. Las funciones de activación utilizan algoritmos de aprendizaje.

Finalmente e dentro los últimos desarrollo de la redes neuronales destacan los que modelan al cerebro Facilita el aprendizaje profundo. EJEMPLOS: Baby X en Auckland

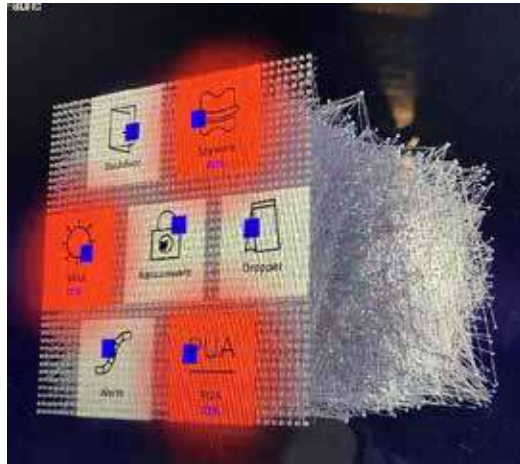
Figura 38. Ejemplo de Aprendizaje Profundo



Seguridad Cibernética Cognitiva

Son sistemas basados en la nube capacitados datos históricos de amenazas cibernéticas, capaces de mitigar las amenazas cibernéticas en tiempo real. Ver Figura 39.

Figura 39. Instinto profundo



APLICACIONES DE LA IA EN LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

Uno de los países que más ha avanzado en Iberoamérica en el tema de la inteligencia artificial y es España. Según Vijayalakshmi et al. (2022), existe una Secretaría de Estado de Digitalización en Inteligencia Artificial, en el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital cuya misión es la modernización de las instituciones del Estado Español. (Vijayalakshmi, Lourens, & Cotrina- Aliaga, 2022).

Otro ejemplo de uso la inteligencia artificial en la pandemia de Covid 19 es su uso en dos grupos de actividades: para la distribución oportunas de productos, su pago importación e integración con sistemas de transporte y otro segundo grupo de actividades para evaluar la sostenibilidad del consumó energía y las emisiones de carbono de dichos sistema de transporte. (Maita-Cruz & Flores-Sotelo, 2022).

En trabajos que abordan problemas más acuciantes en países emergentes como es la contratación de empresas y obra pública, (Adobor & Yawson, 2023). describen el uso de IA como parte de un programa de reformas institucionales en el sector público que contribuya apoyar la lucha contra la corrupción sistémica.

En Finlandia el Ministerio de Finanzas. Mediante la Agencia de Supervisión Financiera (Fiva) utilizó un robot y e enfocaron en sustituir trabajos rutinarios donde los humanos suelen cometer errores con magníficos resultados (Androniceanu, 2023).

En Dinamarca que es uno de los países con mayor integración digital por las características de su territorio se describen experiencias de uso de la IA en los sectores de seguridad y Salud.

En Francia se utiliza un sistema llamado “*vigilancia profunda*” para identificar patrones de fraude en las declaraciones que minimizan el valor de los bienes ingresados. Existe también un programa llamado TRAFIN para identificar la trata de personas. Asimismo en la Unidad de Lucha contra el blanqueo de capitales usa la IA para identificar financiación del terrorismo.

El Corea del Sur se usa a la IA para asesoramiento fiscal y jurídico, asistencia social, asistencia sanitaria, prevención del delito, así como seguridad aeroportuaria y extinción de incendios. (Adobor & Yawson, 2023).

La figura 40, muestra el estado que guarda la economía y administración digital en los países de la Unión Europea en el año de 2022.

Como se ve son cuatro los elementos de evaluación. Capital humano asociado a la cultura digital de los ciudadanos, Conectividad de la nación, Integración de la tecnología digital y la cantidad de bienes y servicios público de sector público, lo que llamaríamos gobierno digital. Como se aprecia ningún país un avance completo e incluso en el más avanzado que es Finlandia gracias a su pequeña población altamente educada el uso de la IA es el más implantado. Los países de mayores brechas son los países de Europa del Este recién integrado como Rumania, Bulgaria. España aparece dentro del cuartil más avanzado y sorpresivamente un país rico y pequeño como Bélgica esta abajo del desempeño promedio.

Figura 40. Índice economía y la cultura digital en la Unión Europea.



Fuente: (Androniceanu, 2023)

El uso de la Inteligencia Artificial en sus distintas modalidades avanza a paso de gigante, siendo mayor su desarrollo y adopción en las sociedades altamente conectadas y educadas. El avance en su uso en la Administración pública ya es una realidad en los países avanzados, sin embargo, va muy por detrás de lo que ocurre en las empresas privadas. El éxito de la adopción de inteligencia artificial está vinculado a la sinergia de 4 fuerzas: Buena conectividad, una cultura de la población en las tecnologías de comunicación e información (TIC), integración de las tecnologías digitales y una política pública sostenida que favorezca la oferta de bienes y servicios públicos mediante el gobierno digital.

El uso de la inteligencia artificial aún en los países más avanzados todavía presenta grandes brechas por lo cual en los países emergentes su adopción está en fase embrionaria. La enorme dimensión territorial de los países de América Latina y las carencias económicas de sus poblaciones jóvenes y vibrantes, tienen graves deficiencias en conectividad lo cual es el mayor reto a enfrentar.

Cursos gratuitos sobre Inteligencia Artificial

La tabla 5 resume algunos de los cursos que se ofrecen gratuitamente y que son de acceso abierto.

Titulo	Características	Liga
Elementos de la IA	Introducción para los no expertos	http://course.elementsofai.com .
Introducción a la Inteligencia Artificial	autor Udacity	https://eu.udacity.com/course/intro-to-artificial-intelligence-cs271 .
Fast AI	cursos de aprendizaje profundo, aprendizaje automático y procesamiento del lenguaje natural. Etc..	www.fast.ai .
Aprendizaje Automático (<i>Machine Learning</i>)	Curso de aprendizaje profundo	(www.coursera.org/learn/machine-learning)
Inteligencia artificial para todos	IA para todos	www.coursera.org/courses?query=artificial%20intelligence y www.edx.org/

Fuente: Elaboración propia a partir de OCDE 2020.

Capítulo 8.

Centros de Estudios Complejos en el Mundo

El estudio de los sistemas complejos ha merecido una gran atención en la ciencia contemporánea. Existen más de 9,820,000 trabajos en Google académico cuando se busca las palabras clave “*complex system*”. Al limitar la búsqueda limitando a los últimos 5 cuatro años -estado del arte- se reduce a 249,000 resultados. Al limitar la búsqueda a “Social Sciences”, los resultados se reducen a 53,600 resultados. Si se limita la búsqueda a artículo escritos en español, la reducción es también significativa: “Sistemas Complejos”: 16,700 resultados en los últimos 5 años 16,700 resultados. Y limitándolos a ciencias sociales los resultados son: 16,800 resultados.

Con todo y lo relevante de estos trabajos, en realidad estos enfoques sobre la complejidad son en su gran mayoría análisis de tipo conceptual- filosófico. Es por ello que se consideró relevante estudiar las líneas de investigación y las investigaciones más relevantes sobre que tienen los centros que estudian los sistemas complejos en las principales en las universidades de México y del mundo.

En este capítulo final analizaremos a partir de las vistas realizadas durante los últimos 7 años, así como con el análisis de la información de sus páginas web a los principales centros de sistemas complejos en el mundo Iberoamérica y México. La investigación estudió seis categorías de análisis que buscan responder las siguientes preguntas: ¿cuáles son los centros de estudios sobre sistemas complejos más prestigiosos que han publicado los conceptos presentados en este libro?, ¿cuáles son sus líneas de investigación? ¿qué proyectos existen en ellos?, ¿cuáles son las metodologías aplicadas?, ¿cuáles son los softwares más comúnmente usados?, y ¿quiénes son los principales Investigadores que son referentes en el campo?

El trabajo de campo consistió en visitar y entrevistar a los directores o investigadores relevantes de 6 centros de investigación que fueron los siguientes:

1. Bar Yam Director del New England Complex System Institute en Boston, donde se trabajó con un grupo de investigadores de diversas escuelas norteamericanas en una estancia de 15 días y se dictó una conferencia de los resultados de los trabajos de investigación denominada *Inequality and Health Patterns Influencing Net Migration in the US*.

2. Gabriel Mogel y el grupo de complejidad la Universidad del General Sarmiento en Buenos Aires Argentina donde se dio una conferencia magistral Gestión de Complejidad en las Megalópolis. El Caso de la Calidad del Aire en la Ciudad de México.
3. Participación en el congreso del C3 de la UNAM y entrevista al Dr. Gershon así como asistencia a su conferencia sobre sistemas de tráfico.
4. Entrevista y participación en el Seminario de estudios complejos de Fernando Alariste en la Maestría de Sistema Complejos de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México y participación con una conferencia magistral para los estudiantes. Gestión de Complejidad en las Megalópolis y sus Implicaciones en la Gestión de la Calidad del Aire.
5. Participación en el seminario del Dr. José Luis Mateos Redes Complejas Teoría y aplicaciones en el Instituto de Física de la UNAM.
6. Participación en el Seminario del Center of Complex Systems en el Instituto Politécnico Nacional.

Resultados

CENTROS INTERNACIONALES DE SISTEMAS COMPLEJOS

El Santa Fe Institute (SFI, USA)



Este es quizás el más prestigioso de los centro de investigación sobre sistemas complejos

Creado en el año de 1984 con el propósito de construir una comunidad basada en las ciencias de la complejidad en problemas trasdisciplinarios de sistemas sociales, artificiales y naturales. Sus fundadores fueron: George Cowan, Murray Gell-Mann y, Stuart Kauffman.

Sin embargo, la cantidad y el número de los grandes nombres es abrumadora dentro de ellos cabe destacar a muchos de los precursores cuya obra hemos descrito: Lazlo Barabási, Brian Arthur, Per Bak, John H. Holland, Christopher Langton, Robert May, Mark Newman, Ricard Solé, Duncan Watts, David B. Weinberger, Geoffrey West y Douglas White.

El Instituto Santa Fe tiene 4 grandes líneas de investigación²⁵:

1 inteligencia compleja: natural, artificial y colectiva,

2 Tiempo complejo: adaptación, envejecimiento, flecha del tiempo

3 Invención e Innovación

4 Limites (Santa Fe Institute, 2020).

Este centro es de una calidad y una profundidad sin igual tiene una gran variedad de colaboradores dentro de los cuales se distinguen 8 grupos multi generacionales que son

Profesores Residentes de Facultad, profesores externos de Facultad, Becarios postdoctorales, profesores Visitantes sabáticos, Becarios Miller, Becarios, Becarios graduados, Becarios externos de la facultad.

Sus profesores residentes, profesores externos y becarios postdoctorales representan a más de 80 instituciones en 20 países,

Facultad Externa - Estos investigadores participan en el programa SFI de sus universidades de origen y centros de investigación, que se encuentran en todo el mundo.

Investigadores visitantes - El Instituto acoge a muchos visitantes, las visitas varían en longitud desde unos pocos días a un año.

25. El Instituto ha cambiado radicalmente sus líneas el año 2016 que hice una primera revisión tenía 5 líneas que eran: Ciudades y Sostenibilidad, Evolución de la complejidad en la Tierra, Leyes ocultas en sistemas biológicos y sociales, Aparición de las sociedades complejas, Barrios, barrios marginales, y desarrollo humano. Para 2020 no queda ninguna de las líneas originales.

Adicionalmente existen dos grupos colegiados que son:

la Junta Científica - Este grupo de científicos y educadores, elaborado a partir de una amplia variedad de campos, supervisa la dirección general, la integración y calidad de la investigación en el SFI.

Comité Directivo Científico: Este grupo se reúne cada dos meses para asesorar a la administración SFI en temas de ciencias. (Santa Fe Institute, 2015).

Adicionalmente destacan los siguientes investigadores cuya obra ha sido citada en el libro:

Investigador	Obra y Línea de investigación
Mark Newman	Su grupo realiza investigaciones sobre la estructura y función de las redes, en particular las redes sociales y de información, que estudian con una combinación de métodos empíricos, análisis y simulación por computadora. Ha investigado redes de coautoría científica, redes de citas, redes de correo electrónico, redes de amistad, redes de contacto epidemiológico y redes sociales de animales; Así como las propiedades fundamentales de la red, como la distribución de grados, las medidas de centralidad, la mezcla selectiva, la similitud de vértices y la estructura de la comunidad, y hemos elaborado modelos analíticos o informáticos de la propagación de enfermedades, la formación de amistades, la propagación de virus informáticos, Internet y navegación por redes. .
Rebert Axtell	Rob Axtell trabaja en la intersección de la economía, la teoría de juegos de comportamiento y la informática de sistemas de múltiples agentes. Su investigación más reciente intenta hacer emerger una macroeconomía a partir de decenas de millones de agentes que interactúan. Es director de departamento del nuevo Departamento de Ciencias Sociales Computacionales de la Universidad George Mason (Fairfax, Virginia, EE. UU.). Su investigación se ha publicado en "Science", "Proceedings of the National Academy of Sciences USA" y en importantes revistas de campo. Creo el software Sugarscape descrito en el capítulo 7,

<p>Samuel Bowels</p>	<p>Dirige el Programa de Ciencias del Comportamiento del Instituto . Su investigación actual incluye estudios teóricos y empíricos de la jerarquía política y la desigualdad de la riqueza y su evolución a muy largo plazo.</p> <p>Sus artículos académicos han aparecido en Science, Nature, entre otras</p> <p>Su libro más reciente es La economía moral: por qué las buenas leyes no sustituyen a los buenos ciudadanos (Yale University Press, 2016). Otros libros recientes son A Cooperative Species: Human reciprocity and its evolution (con Herbert Gintis, Princeton University Press, 2011), The new economics of inequality and redistribution, (Cambridge University Press, 2012) y Microeconomics: Behavior, Institutions and Evolution (Prensa de la Universidad de Princeton, 2004). Actualmente trabaja en Lla igualdad: los orígenes y el futuro de la disparidad económica y la jerarquía política.</p>
<p>Joshua Epstein</p>	<p>Es Profesor de Epidemiología en la Escuela de Salud Pública Global de la NYU y Director fundador del Laboratorio de Modelado Basado en Agentes de la NYU, fue profesor de Medicina de Emergencia en Johns Hopkins y Director del Centro de Modelado Avanzado en Ciencias Sociales, del Comportamiento y de la Salud, Fue investigador principal de estudios económicos en la Brookings Institution y director del Centro de dinámica social y económica. Su interés de investigación ha sido el modelado de dinámicas sociales complejas utilizando métodos matemáticos y computacionales, en particular el método de modelado basado en agentes en el que es un pionero reconocido. Por esta innovación transformadora, recibió el Premio Pionero del Director de los NIH en 2008 Ha aplicado este método al estudio de enfermedades infecciosas (por ejemplo, ébola, influenza pandémica y viruela), enfermedades transmitidas por vectores (por ejemplo, zika), preparación para desastres urbanos, violencia contagiosa, la evolución de las normas, la dinámica económica, la arqueología computacional y el surgimiento de clases sociales, entre muchas otras temas. Sus libros incluyen Nonlinear Dynamics, Mathematical Biology, and Social Science (Wiley 1997), Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling (Princeton, 2006), Agent_Zero: Toward Neurocognitive Foundations for Generative Social Science (Princeton, 2013) y con Robert Axtell, Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up (MIT, 1996). El Dr. Epstein obtuvo su BA de Amherst College y su Ph.D. del Instituto de Tecnología de Massachusetts.</p>

<p>Geofrey West</p>	<p>Es un físico teórico estudioso de las partículas elementales, sus interacciones e implicaciones cosmológicas. Estudio fenómenos de escala general relacionados con la biología desde la escala genómica molecular hasta las mitocondrias y células hasta organismos y ecosistemas completos.. Su obra proporciona un marco para la comprensión cuantitativa de problemas que van desde cuestiones fundamentales en biología a la estructura y dinámica de los ecosistemas a cuestiones de vanguardia de la investigación médica (como el envejecimiento, el sueño y el cáncer). Entre sus intereses actuales esta la comprensión cuantitativa de la estructura y dinámica de organizaciones sociales, como ciudades y corporaciones, incluidas las relaciones entre economías de escala, crecimiento, innovación y creación de riqueza y sus implicaciones para la supervivencia a largo plazo y sustentabilidad.</p>
---------------------	--

Fuente : Elaboración propia a partir de (Santa Fe Institute, 2020).

Dentro de las metodologías que se usan en el Instituto Santa Fe destacan: el análisis geoespacial, análisis de escala, identificación de patrones de escala general en la infraestructura urbana, la aplicación de aprendizaje automático, la minería de datos, métodos de estadística espacial para el estudio de los datos socioeconómicos y los modelos de simulación en todos los niveles. Es el mejor centro de investigación de Sistemas Complejos en el mundo.

Complex Systems Universidad de Michigan



El Centro para el Estudio de Sistemas Complejos fue creado en 1999 por la Universidad de Michigan adscrito a la Oficina del Vicepresidente de Investigación (OVPR). Su primer director, Carl Simon, ayudó a crear un programa estructurado con énfasis en la investigación interdisciplinaria. El Centro cuenta actualmente con diez miembros de la facultad central y más de 50 profesores afiliados que representan a casi todos los colegios de la Universidad. Más de la mitad de ellos toman un papel activo en CSCS incluida la participación en las propuestas de subvención, grupos de investigación y la administración. En julio de 2005, CSCS se convirtió formalmente en el Colegio de Literatura, Ciencia y Artes (LSA) lo cual no tiene precedentes en los institutos que estudian los sistemas complejos.

El campo de acción de este estupendo centro no solo se limita a la investigación y a la formación, sino que al estar adscrito a una universidad ofrece cursos de licenciatura que por su interés se mencionan a continuación: Sistemas Sociales y energía, Tipping Points, carrozas y cascadas: comportamiento individual de dinámicas sociales, modelado basado en agentes, introducción a los modelos, modelado de enfermedades infecciosas.

Dentro de sus grupos y proyectos de investigación cabe mencionar 13 líneas que son:

1. Adánica, Lada – Redes de información
2. Agrawal, Arun - Bosques e Instituciones en África
3. Bruch, Elizabeth - Modelos dinámicos de la segregación racial en ubicación residencial
4. Deegan, Robert – Laboratorio de ciencia no lineal
5. Dempsey, Amanda – implantación de sistemas de vacunación para el virus del papiloma humano en escuelas
6. Doering, Charlie – sistemas colaborativos de investigación no lineal
7. Doering, Charlie - Estudios en Física Matemática
8. Kaplan, George - Red sobre desigualdad, complejidad y salud
9. Newman, Mark - Redes y contagio
10. Page Scott - Creación de Multitudes inteligentes
11. Page Scott - Teoría de Juegos, cultura y dependencia de la trayectoria institucional
12. Page Scott – Pensamiento y enseñanza computacional
13. Page Scott - Sistemas Complejos Avanzados (LSA Complex System Universidad de Michigan, 2015)

Se identificó un proyecto que aunque no estudia concretamente la gestión ambiental si está asociado por tratarse de la movilidad residencial en las ciudades. Lo lleva acabo Rick Riolo

Este proyecto esboza un plan de investigación para comprender mejor las causas de la segregación racial y económica residencial en las ciudades estadounidenses. Se propone desarrollar modelos basados en datos de los hogares movilidad residencial y de utilizar estos modelos como base para un modelo realista, basada en agentes de formación barrio y la segregación residencial. Los métodos actuales utilizados para estudiar la segregación residencial han examinado los

procesos individuales específicos vinculados a la segregación. Estos métodos generalmente se basan en juicios intuitivos para sacar conclusiones acerca de cómo estos procesos se agregan para formar barrios segregados. Esto es problemático porque los modelos de simulación estilizados muestran la retroalimentación y las limitaciones en los sistemas residenciales producen las relaciones de los insumos y los resultados que son altamente interactivo y no lineal. Nuestro enfoque alternativo se basa en modelos de elección discreta de selección de destino en la reubicación residencial y una simulación basada en agentes. Estimamos los modelos de elección discreta, utilizando los datos sobre la movilidad del Estudio de Panel de Dinámica de Ingresos corresponden con los datos de los censos decenales. Nuestro modelo básico propuesto incorpora la raza y el barrio de la composición racial, los ingresos y los gastos de vivienda, composición del ingreso de vecindad, y la tenencia (propietario o inquilino). También se propone hacer una extensión al modelo que incorpora la riqueza, la discriminación en el mercado de vivienda, y los impactos del cambio barrio en el barrio residencial y barrios adyacentes. El modelo base que proponemos podría incorporar otras mejoras futuras hacia un mayor realismo y utilidad. El modelo tiene dos usos. El primer uso es tratar las cuestiones científicas básicas sobre las causas de la segregación. El segundo uso es evaluar los efectos de las políticas de vivienda espacialmente focalizadas sobre la raza y la segregación de ingresos. Utilizamos el modelo para evaluar los efectos del cambio de la tradicional vivienda pública en lugares fijos para los vales de vivienda y viviendas de ingresos mixtos sobre la raza y la segregación de ingresos.

La metodologías usadas fueron Modelos de elección discreta y la simulación basada e agentes.

Institut des Systèmes Complexes de Paris Île-de-France



Este es un centro de investigación de reciente creación.

New England Complex Systems Institute, Boston

El Instituto de Sistemas Complejos de Nueva Inglaterra (NECSI) es un instituto independiente que mediante estudiantes, becarios posdoctorales y profesores visitantes. Además de un equipo de investigación que en realidad hace labores de staff. El NECSI al estar ubicado en Boston tiene acceso a profesores, estudiantes y afiliados de MIT, Harvard, Brandeis y otras universidades nacionales e internacionales, lo cual le da su ventaja competitiva y su principal atractivo.



Los investigadores que realizan estancias posdoctorales en el NECSI ya que este Instituto no tiene investigadores de base salvo su director, estudian redes, modelado basado en agentes, análisis y complejidad multiescala, el caos y la previsibilidad, evolución, ecología, biodiversidad, el altruismo, la biología de sistemas, la respuesta celular, cuidado de la salud, ingeniería de sistemas, de negociación, de conflicto militar, la violencia étnica y de desarrollo internacional. (NECSI, 2015).

Adicionalmente ofrece curso de capacitación sobre sistemas complejos en los cuales tuve ocasión de participar. Uso sobre generalidades de sobra conocidas otro sobre modelación de sistemas complejos y redes con un acento excesivo en demostraciones matemáticas y el software Python lo cuales no son recomendables para principiantes ni tampoco para conocedores intermedios del tema como es mi caso.

Existen 12 líneas de investigación en este Instituto que son: ciencias económicas, Método multiescala, Sistemas Sociales, la violencia étnica, Redes, cuidado de la salud, evolución y biología de sistemas, educación, ingeniería, conflicto militar, negocios, y deportes.

Dentro de la línea de investigación Biodiversidad, Ecología y evolución se demarcaron las siguientes investigaciones: El modelo Moran como un proceso dinámico de redes y sus implicaciones en la especificación neutral realizada por los investigadores Marcus A.M. de Aguiar, Yaneer Bar-Yam, (2011).

En la línea de administración se estudia de qué manera las interacciones complejas pueden ser efectivamente gestionadas existen las siguientes investigaciones:

La complejidad creciente: de los seres humanos a la civilización humana, un perfil de complejidad realizada por (Bar-Yam, 1997)

La variedad de multi escalas en los sistemas complejos (Bar-Yamm, 2004)

Dinámica Empresarial: Pensamiento Sistémico y Modelado por un Mundo Complejo. (Steaman, 2000)

Dentro de la línea de negociación se detectó las siguientes investigaciones de tipo teórico reflexivo.

La dinámica de diseño colaborativo: Perspectivas de los sistemas complejos y la investigación de negociación. (Klein, Sayama, Faratin, & Bar-Yam, 2003)

Agentes de negociación simples en juegos complejos equilibrios: Emergente y el dominio de las estrategias. (Klein, Samaya, Faratin, & Bar-Yam, 2003)

Adicionalmente existen otros trabajos de tipo teórico de interés, no hay nada específico relacionado con la gestión ambiental. Las metodologías que se han usado en estos proyectos de gestión fueron el modelo Moran, el análisis conceptual y los modelos de diseño colaborativo.

Aunque el NECSI tiene talentosos investigadores que hacer estancias posdoctorales el problema de este Instituto es el abrumador protagonismo de su director Bar-Yam quien aparece en prácticamente todas las publicaciones del Instituto. Luego de realizar una estancia en el centro y valorar por 15 días sus alcances puedo decir que se trata de un instituto de calidad intermedia donde se percibe un interés más comercial que científico. A diferencia del Instituto Santa Fe que es un verdadero centro de investigación el NECSI es una organización tipo sol donde todo gira en torno a su director y los investigadores que realizan estancias posdoctorales atraídos por el prestigio de Boston y el MIT al cual este centro no pertenece.

CENTROS DE COMPLEJIDAD EN MÉXICO

El C3 de la Universidad Nacional Autónoma de México

Es el principal centro de investigación de América Latina.



Ese centro ha evolucionado de la virtualidad a crear e integrar a integrar a diversas redes de académicos y estudiantes de 25 Instituciones de la UNAM y otras universidades como el IPN, la UAM y la UACM. El proyecto se inició formalmente en 2009, pero sus antecedentes directos datan desde los años 80 con los programas de Sistemas Complejos y el Departamento de Sistemas Complejos del Instituto de Física de la UNAM. El C3 cuenta por el momento con seis líneas principales de investigación:

1. Inteligencia Computacional
2. Complejidad y Salud
3. Complejidad ecológica y medio ambiente
4. Complejidad Social
5. Arte, ciencia y complejidad
6. Complejidad y Biología de Sistemas

Los investigadores del C3 más relevantes son

Investigador	Investigación
<p>Carlos Gershenson García</p>	<p>Dinámicas de Rango en Escalas Múltiples. Exploraremos la dependencia de la dinámica de rango al variar la escala temporal y geográfica. Esto nos permitirá incrementar nuestra comprensión sobre la dinámica del uso del lenguaje y dinámicas de rango en general.</p> <p>Evasión de impuestos. Análisis de redes. Identificar lazos entre actores que comercializan facturas electrónicas apócrifas tales como canales de transacciones (compras, ventas u otras formas de enajenación) mediante algoritmos y técnicas de análisis estadístico de teoría de redes</p> <p>Laboratorio de Ciencias de la Complejidad</p>
<p>Alejandro Frank Hoeflich</p>	<p>Biomarcadores de salud y enfermedad a través del análisis de series de tiempo fisiológicas” (ODS 3)</p> <p>PAPIIT Vinculación docencia-investigación “Salud y enfermedad: Tecnologías de la información, biomarcadores no-invasivos y alertas tempranas</p>
<p>Christopher R. Stephens</p>	<p>Complejidad Ecológica de las Enfermedades Emergentes</p> <p>El Conductoma: Un nuevo paradigma</p> <p>La Enfermedad de Chagas: Un Enfoque desde la Ciencia de la Complejidad</p> <p>Redes complejas inferenciales, minería de datos espacial</p> <p>Salud y enfermedad: un enfoque desde las ciencias de la complejidad</p>
<p>Elena Álvarez-Buylla</p>	<p>Estudio redes genéticas a la morfogénesis en los nichos de células troncales en la raíz de Arabidopsis thaliana</p> <p>Interacción de redes de genes MADS-box (tipo MEF) con vías de respuesta a especies reactivas de oxígeno en el desarrollo de la raíz de Arabidopsis thaliana</p> <p>Desarrollo, optimización e implementación de nuevas tecnologías moleculares y cartográficas de biomonitoreo de transgenes y herbicidas en maíz en México: hacia una estrategia y panorama integrales de bioseguridad</p> <p>Monitoreo de secuencias transgénicas en sitios prioritarios de México.</p>
<p>José Luis Mateos Trigos</p>	<p>Sistemas complejos en Física. Coordinador de Investigación</p>

Otros investigadores a destacar son: Gustavo Martínez, Humberto Carrillo Calvet, Igor Lugo Olmos, Issac Rudomin Ivette Rizo Pastrana, Jesús Espinal Enríquez, Jonathan Francis Easton, Jorge Alberto Escutia Sánchez, Jorge Chávez Carlos, José Luis Jiménez Andrade, Juan Carlos Martínez García, Juan Claudio Toledo Roy Julieta Jujnovsky, Julia Carrillo Martínez de la Escalera, Laura Alexandra Rengifo Correa, Ludwing Von Christopher Chávez Jiménez, Luis Olivares Quiroz, Manolo Cocho, Malaquias López, Marco Antonio Rosas Pulido Marcus F. Müller, María Concepción García Aguirre, Mario Luis Fuentes Alcala, Maximino Aldana, Miriam Wendolyn Barajas Márquez, Mónica Jacinto Maldonado, Nashielly Yarzabal Coronel, Oliver Xavier López Corona, Osbaldo Resendis, Antonio, Pedro J. Rivera Torres, Ricardo Arancebia Jorge, Rosana Pelayo, Rossana Lara Velázquez, Ruben Yvan Maarten Fossion, Susana Benítez Giles Arenas Resendiz, Vicente Sarco, Zapata Octavio Baltazar y Zeidy Muñoz Torres.

En el C3 como se observar a se han privilegiado las siguientes metodologías el Análisis geoespacial, la Minería de datos, el uso de Autómatas celulares, el análisis de redes complejas y la simulación.

El CCSIPN del Instituto Politécnico Nacional de México



CCSIPN © IPN México

El Complex Sisteym Institute del IPN. Es una red de investigadores de la universidad tecnológica más importante de México que es el Instituto Politecnico Nacional la cual desarrolla investigación en fenómenos no lineales, tales como: ciencia de la complejidad, la informática, las ciencias sociales, proceso celular, la biología sintética, bioinformática, sistemas de reacción-difusión, la vida artificial, la inteligencia artificial, enjambre, el comportamiento no trivial colectiva, robótica, sistemas dinámicos, patrones, la economía, los sistemas de transporte, la propagación organismo (virus, infecciones, poblaciones), dinámica de partículas,

la seguridad y la salud pública, la auto-organización, sistemas adaptativos, emergencia, nuestro proceso evolutivo.

Fue creado en el año 2011 por iniciativa de Genaro Juárez de la Escuela Superior de Computo y está integrado por un comité constituido por sus miembros más activos que son los siguientes: Genaro Juárez Martínez (ESCOM), José Antonio García Ayala (ESIA Tecamachalco), María del Pilar Peña Cruz (ESCA Sto. Tomás), Luis Arturo Rivas Tovar (ESCA Sto. Tomás), y Alexander Balankin Cano (ESIME).

Aunque fue formada hace 4 años no ha sido formalmente reconocida hasta el año 2017 como una de las 1º redes de científicos del IPN. Integra a un total de 50 investigadores de un total de 10 facultades o escuelas: 11 investigadores de la ESCOM, 7 de la ESCA Santo Tomas, 5 investigadores de la Escuela de UPITA 1 6 investigadores de la ESIA Tecamachalco, 2 de la ESIME Zacatenco, 2 de la Escuela de Físico y matemáticas, 4 del Centro de investigación en Computación, 2 investigadores del Centro de investigaciones en Ciencia Sociales, 2 investigadores de la UPIBI, 2 investigadores del Centro de investigación en Medio ambiente y un investigador las siguientes Escuelas Escuela de Economía, Escuela Nacional de Medicina y Obstetricia, ESCA Tepepan, (CECyT 14), (CIIDIR Oaxaca), (CIITEC), (CSII), (REDI).

Dentro de los proyectos que se realizan en esta red destacan las siguientes (Red del Grupo de investigadores en Sistema Complejos del IPN, 2015):

Persistencia de los sistemas complejos, el caso de autómatas celulares con memoria.

Auto-organización en la simulación y predicción de sismos en México.

Estudio y explotación del petróleo mexicano basado en fractales.

Modelación fractal de sistemas complejos.

Desarrollo teórico y experimental de la hidrodinámica fractal de flujos multifásicos en medios porosos.

Causas y consecuencias de los patrones libres de escala en el movimiento animal: caso de estudio con primates mexicanos.

Influencia de la complejidad y el caos en la gestión ambiental. Escenarios organizacionales para la comisión ambiental metropolitana.

Sistemas de organización en casos de riesgo sísmico en la Ciudad de México.

Complejidad social: dispersión de la cultura Otomí en México.

Mini-robot móvil con sensores infrarrojos para reproducción de fenómenos tipo swarm y posibles aplicaciones a la industria y sector público en México.

Diseño de redes complejas para el trazado óptimo de carreteras en todo el territorio mexicano a través de sistemas bioquímicos de tipo slime mould.

Complejidad en la dinámica molecular de proteínas reguladoras de la muerte celular y cáncer.

Estrategia nacional para enfrentar el cambio climático y mejorar la calidad del aire en las ciudades mexicanas.

En la línea de Sistemas Sociales se creó el laboratorio de Evolución Organizacional, con los siguientes integrantes: Magali Cárdenas, Lila Margarita Bada Carbajal, Luis Rocha- Lona, María Teresa de la Garza- Carranza, María del Pilar Peña, Blanca García, Eduardo Martínez Mendoza,, Fernando Alatríste, Salvador Galicia- Anaya, Luis Felipe Llanos-Reynoso, Eva Conraud, José Osorio Antonia, Teresa Cano, David Salas, Edith García- Garcilazo, Leticia Chavarría, Juan Carlos Moreno, Andrea Bernal, y Flavio Durón. Isaac Vázquez Ocon. Teresa Cano y David Salas.

1. Influencia de la complejidad y el caos en la gestión ambiental. Escenarios organizacionales para la comisión ambiental metropolitana.
2. Estrategia nacional para enfrentar el cambio climático y mejorar la calidad del aire en las ciudades mexicanas
3. Investigación sobre sistemas BRT en ciudades mexicanas.
4. Estudio sobre la colaboración científico en México
5. Patrones de cooperación entre investigadores nivel III en el área de Ciencias Sociales
6. Perdurabilidad en las empresas mexicanas que cotizan en la Bolsa de Valores en México 1875- 2016.
7. Patrones de ocultamiento de drogas en las aduanas de México
8. Evolución de la competitividad de los productores de maíz indígenas en Veracruz México
9. Evaluación de los patrones de movilidad y su influencia en la calidad del aire en las 5 ciudades del estado de Guanajuato México.
10. Redes de cooperación científica en los investigadores de ciencias económicas y empresariales del Sistema Nacional de investigadores

11. Impacto social, económico, ambiental y tecnológico de las empresas generadoras de energía eólica en el Istmo de Tehuantepec.
12. Patrones de gestión en las cadenas agroindustriales en la industria de cítricos en Veracruz.

Como resultado de estas investigaciones se han publicado los siguientes trabajos:

1. Desarrollo de una escala de medición de la percepción en la calidad del servicio en los sistemas de autobuses de tránsito rápido a partir del Metrobús de la Ciudad de México. (Lambarry, Rivas, & Trujillo, 2013)
2. Estudios sobre la resolución de conflictos enfocado a los sistemas de tránsito Rápido (BRT). (Lambarry- Vilchis, Rivas, & Trujillo, *Conflict resolution though consensus buliding aproach in the implementation of bus rapid transit system*, 2012)
3. Planeación de los sistemas BRT y consensos entre transportistas y autoridades de gobierno durante su implementación: el caso de Metrobús y Mexibús. (Lambarry- Vilchis, Rivas- Tovar, & Peña, 2011).
4. Aspectos. Institucional en Implementación de Sistemas de Transporte Masivo de la Ciudad de México, Estado de México y León Guanajuato, (Lambarry-Vilchis, Rivas-Tovar, & Trujillo- Flores, 2010)
5. Influencia de la Teoría de la Complejidad en la Gestión ambiental en México que resume la investigación basado en el enfoque analítico de sistemas complejos del año 2000 al 2007 (Rivas- Tovar, 2009).
6. El estudio de las redes de conocimiento entre los investigadores de ciencias ambientales del Instituto Politécnico Nacional realizada en la tesis doctoral de la FCA- UNAM por Magali Cárdenas y dirigida por Nadima Simon y Luis Arturo Rivas. (Cardenas, Simon, & Rivas, 2015)
7. Social perception of wind energy in the Isthmus of Tehuantepec, *Journal of Sustainable Development*, ISSN 1913-9063 E-ISSN 1913-9071, Eduardo Martínez Mendoza 0000-0002-8670-0221, Luis Arturo Rivas Tovar 0000-0002-5186-9895, Gregorio Fernández Lambert, Vol. 8, No. 9; 2015 206-217.
8. Análisis de la estructura de una red de conocimiento en México. Magali Cárdenas Tapia.
9. Luis Arturo Rivas Tovar, Fernando Alatrastre, Nadima Simon, *Revista de Ciencias Sociales (RCS) Universidad del Zulia Venezuela*. ISSN: 1315-9518, Vol

XXI no.4, 521-537. file:///C:/Users/Arturo/Downloads/20896-27975-1-PB.pdf
Indice Scopus.

10. Análisis de una Red Científica en Mexico, Revista Innovar,Version impresa 0121-5051,ISSN e 2248-6968,26(61), 145-157. Cárdenas M. Rivas- Tovar L. A. Alatríste F. & Simon N. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/57174/56571>.DOI: 10.154 46/innovar.v26n61.57174 Indice Scopus.
11. Modelo de asociatividad en la cadena productiva en las Mipymes de cítricos en Veracruz Lila Margarita Bada Carbajal. Luis Arturo Rivas-Tovar, Herman Littlewood. Revista Contaduría y Administración UNAM . 62 (4) 2017, 1118-1135,. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cya.2017.06.006>
12. La Eficacia a de la policía estatal en México. Perfiles latinoamericanos vol 26 (52) 1-26.Indizada JCR Q3, ISSN 0188-7653,Luis Felipe Llanos Reynoso. Luis Arturo Rivas Tovar Fernando Lambarry, Mara Trujillo. <http://perfilesla.flacso.edu.mx/index.php/perfilesla/article/view/625/873>
13. El sector eólico en México y España. Martínez-Mendoza E. Rivas-Tovar L. A (2019).Perfiles Latinoamericanos Vol 26 (53) ISSN: 0188-7653 y ISSN e 2309-4982,DOI: 10.18504/pl2753-002-2019,Páginas 1-21.Indizada en JCR Q3.
14. Galicia-Anaya, Salvador Arturo; Rivas -Tovar, Luis Arturo,Cárdenas- Tapia, Magali
15. Evolución y perdurabilidad de empresas bursátiles de la bolsa mexicana de valores de 1895-2016. (2020) Revista Universidad y Empresa. 22,(38) 183-210 doi: <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.8003>
16. Osorio-Antonia,J. Bada-Carbajal, L.M. Rivas-Tovar, L.A.2020), “NAFTA and the United States and Mexico maize belts 1994–2017”,Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies, print. <https://doi.org/10.1108/JADEE-08-2019-0127>
17. Mendoza- Martínez E. Rivas- Tovar L. A, Eduardo Fernandez- Echebverria & Gregorio Fernández (2020). Social Impact Wind Energy Tehuantepec Itsmus , México Using Likert-fuzzy.Energy Strategic Reviews. 32, (2020), 100567. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100567>

Las metodologías usadas fueron: Análisis conceptual, modelación con ecuaciones estructurales, análisis de redes con CYTOCAPE y modelación basada en agentes.

En síntesis, en el IPN se identifican 4 líneas de investigación que son las siguientes:

Líneas de investigación	Investigadores participantes
Sistemas Naturales	Fernando Angulo Brown (ESFM), , Lev Guzmán Vargas (UPIITA Ricardo Hernández Pérez (ESFM), Alexander Balankin Cano (ESIME) Israel Reyes Ramirez (UPIITA), Alejandro Muñoz Diosdado (ESFM) Adolfo Guzmán Arenas (CIC), Manuel Alejandro Paredes Hernández (CIC), Joel Noyola Bautista (CIC) Israel Reyes Ramirez (UPIITA)
Sistemas complejos aplicados a sistemas sociales y económicos	Luis Arturo Rivas Tovar (ESCA Sto. Tomás). Magali Cárdenas Tapia (ESCA TEPEPAN), , Guadalupe Laura Flores Negrete (UPIITA), Iván Yair Fernández Rosales (UPIITA), Amado Francisco García Ruiz (UPIITA), María del Pilar Peña Cruz (ESCA Sto. Tomás), Adriana de la Paz Sánchez Moreno (ESCOM), Eduardo Bustos Farías (ESCOM), (ESCOM), Fernando Mohedano (EST) Luis Mauricio Rodríguez Salazar (CIECAS)
Complejidad en espacio habitable, culturales y urbanismo	José Antonio García Ayala (ESIA Tecamachalco), Ricardo Antonio Tena Nuñez (ESIA Tecamachalco), Delia Patricia López Araiza Hernández (ESIA Tecamachalco), Blanca Margarita Gallegos Navarrete (ESIA Tecamachalco), Fermin Ernesto Flores Quiroz (ESIA Tecamachalco), Genaro Hernández Camacho (ESIA Tecamachalco), Ruth Selene Ríos Estrada (CIITEC), Roque Juan Carrasco Aquino (CIEMAD), Rubén Cantú Chapa (CIEMAD), Israel Huerta Ibarra (CSII), Rodolfo Perea Monroy (CECyT 14).
Robótica e Inteligencia Artificial	Genaro Juárez Martínez (ESCOM), Luz Noé Oliva Moreno (ESCOM), Jesús Yaljá Montiel Pérez (ESCOM), Rosaura Palma Orozco (ESCOM), Olga Kolesnikova (ESCOM), Rosa Graciela Chávez Barrera (ESCOM), Marco Antonio Chávez Aguilar (ESCOM), Daniel Emmanuel Robledo Arana (ESCOM), Luis Daniel Alducin Acevedo (ESCOM), Dalia de Felipe Vargas (ESCOM), Carmén Mayte (ESCOM), Xiaou Li (CINVESTAV), Juan Humberto Sossa Azuela (CIC), Manuel Alejandro Paredes Hernández (CIC), Joel Noyola Bautista (CIC), , Germán Noé Reyes Flores (ESIME

Fuente: Cárdenas 2020

El cuadro 1 resume el panorama completo de líneas de investigación como resultado de nuestra investigación.

Cuadro 1. Centros Internacionales y Nacionales en Sistemas Complejos

<i>Centro</i>	<i>País</i>	<i>Líneas de investigación</i>	<i>Página web</i>
Santa Fe Institute	USA		http://www.santafe.edu/
New England Complex Systems Institute (NECSI, USA)	USA	<p>1 Inteligencia compleja: natural, artificial y colectiva,</p> <p>2 Tiempo complejo: adaptación, envejecimiento, flecha del tiempo</p> <p>3 Invención e Innovación</p> <p>4 Límites</p>	http://www.necsi.edu/
L'Institut des Systèmes Complexes (ISC-PIF, France)	Francia	<p>Epistemología formal, experimentación, aprendizaje automático</p> <p>Herramientas informáticas para la exploración y la formalización</p> <p>Interacciones entre humanos prestadas asistencia por ordenador</p> <p>· Dinámicas estocásticas multiescalas, inestabilidades y robustez</p> <p>El paradigma de la "cascada"</p> <p>Sistemas dinámicos aleatorios y bifurcaciones estocásticas</p> <p>Transiciones de fase, motivos y comportamientos emergentes</p> <p>Échelonnage espaciotemporal en física y en biología</p> <p>Comportamiento colectivo en los sistemas homogéneos y heterogéneos</p> <p>Dinámicas colectivas de las unidades homogéneas o heterogéneas</p> <p>Dinámicas colectivas en los entornos heterogéneos</p> <p>Emergencia de la heterogeneidad y de los procesos de diferenciación, heterogeneidad dinámica y difusión de la información</p> <p>Del control óptimo a la gobernanza multiescalas</p> <p>Proyectar las dinámicas complejas en espacios limitados</p> <p>Proyectar el control óptimo en un espacio multiescalas y de gran dimensión</p> <p>Coadaptación de la gobernanza y de los objetivos de las partes interesadas</p> <p>Entre otras...</p>	http://www.iscpif.fr/

<p>Complex systems University of Michigan</p>	<p>USA</p>	<p>Adamic, Lada—Social Information networks Agrawal, Arun--Central Africal Forests and Institutions Brown, Dan--Project SLUCE Bruch, Elizabeth--Dynamic Models of Racial Residential Segregation Deegan, Robert--The Deegan Group: Non-linear Science Laboratory Dempsey, Amanda--School Mandates for HPV Vaccination Doering, Charlie--Collaborative Research Nonlinear Systems Doering, Charlie--Studies in Mathematical Physics Kaplan, George--Network on Inequality, Complexity and Health Newman, Mark--Networks and Contagion Page, Scott--Creating Wise Crowds Page, Scott--Games Theory, Culture and Institutional Path Dependence Page, Scott--Teaching Computational Thinking Page, Scott--Complex Systems Advanced Academic Workshop</p>	<p>http://www.lsa.umich.edu/cscs/</p>
<p>Centre of Complexity Science Imperial College</p>	<p>UK</p>	<p>Structure at macro level emerges from the micro level with an emphasis on the role and nature of dynamics The fields of statistical mechanics and complexity science with an emphasis on non-equilibrium systems</p>	<p>http://www3.imperial.ac.uk/complexityand-networks</p>
<p>Grupo de simulaciones en sistemas complejos Universidad de Chile</p>	<p>Chile Santiago</p>	<p>Complejidad en plasmas Tránsito en ciudades Mecánica estadística no extensiva Control de caos Nanoclusters Flujo de peatones Sismos Plasmas astrofísicos y espaciales Redes complejas Econofísica</p>	<p>http://fisica.ciencias.uchile.cl/complex/complex.html</p>

Grupo de caos y complejidad del Centro de Física Fundamental de la Universidad de los Andes	Venezuela Mérida	<ul style="list-style-type: none"> ·Caos espaciotemporal ·Formación de patrones ·Procesos dinámicos en redes ·Comunicación y criptografía caótica ·Dinámica de sistemas fisiológicos ·Redes de mapas acoplados, autómatas celulares ·Comportamientos colectivos emergentes ·Sociofísica ·Econofísica 	http://www.ciens.ula.ve/cff/caoticos/ES/Investigacion.html
Centros de Complejidad en México			
C3 UNAM	Mexico DF	<p>Inteligencia Computacional Complejidad y Salud Complejidad ecológica y medio ambiente Complejidad Social Arte, ciencia y complejidad Complejidad y Biología de Sistemas</p>	https://www.c3.unam.mx/
Center of complex systems en el Instituto Politécnico Nacional	Mexico	<p>Cinco principales campos de investigación en CCSIPN Ciencia y complejidad Complejidad Social Sistemas Bioquímicos, la sostenibilidad, los recursos naturales, y la salud Comportamiento no trivial y colectivo Vida Artificial, la evolución y la computabilidad</p>	http://comunidad.escom.ipn.mx/sistemas-complejos/Welcome.html
Departamento de sistema Complejos del Instituto de Física de la UNAM	Mexico	<p>Sistemas complejos biológicos Sistemas dinámicos no lineales Problemas fundamentales de la mecánica cuántica Transporte en sistemas mesoscópicos Nano ciencia Materia ultra frío Mecánica estadística de redes</p>	http://scifunam.fisica.unam.mx/index.php
PEECI Universidad Autónoma Metropolitana	Mexico DF	<p>Filosofía y Ciencia de la Complejidad. Evolución de Sistemas Complejos Adaptables. Representación multidisciplinaria de la Cognición. Emergencia y evolución de las Instituciones. Evolución de la Cooperación</p>	https://sites.google.com/site/uamxpecci/proyecto

<p>Maestría en dinámica no lineal y sistemas complejos, Universidad Autónoma de la Ciudad de México</p>	<p>México UACM</p>	<p>Dinámica de sistemas no lineales Sistemas Complejos Ciencia y sociedad</p>	<p>http://www.uacm.edu.mx/uacm/es-es/colegios/colegio-decienciasyhumanidades/posgradosccyh/maestr%C3%A1-Daendin%C3%A1micanonlinealsistemas-complejos.aspx https://www.youtube.com/watch?v=fCD-3mMDXLk</p>
<p>Centros de Complejidad en Iberoamérica</p>			
<p>ClabB</p>	<p>España Barcelona</p>	<p>Redes biológicas Ciencia ciudadana para ciencias sociales computacionales Redes económicas Propagación de la epidemia Cimientos de redes complejas Comportamiento humano y toma de decisiones Movilidad humana Redes multiplex Geometría de red Redes en cosmología Producción y distribución de alimentos durante el imperio romano Sincronización en redes complejas Dinámica estocástica y eventos de tiempo extremos para Sistemas socioeconómicos Sistemas socio-tecnológicos Mecánica estadística de redes no binarias</p>	<p>http://www.clabb.eu/</p>
<p>Cosnet Lab oratorio de Sistema Complejos y Redes Zaragoza</p>	<p>España Zaragoza</p>	<p>Sistemas socio-técnicos, Epidemiología, Sistemas biológicos y humanos Teoría de redes.</p>	<p>http://cosnet.bifi.es/</p>

Alephys Laboratorio	España Tarragona	Redes complejas Teoría de juego Sistemas neuronales Dinámica no lineal Algoritmos de optimización Sistemas autorganizados	http://deim.urv.cat/~alephys/
Universidad de Alcalá	España	Modelado de sistemas multiagente Sostenibilidad del medio ambiente Cambio tecnológico Redes sociales Sistemas de transporte	https://www.uah.es/en/investigacion/unidades-de-investigacion/grupos-de-investigacion/Sistemas-Complejos-en-Ciencias-Sociales/
Universitat de Barcelona Institute de Sistemas Complejos	España Barcelona	Física estadística Redes Sistemas dinámicos Ciencia de los datos	http://ubics.ub.edu/
Physics Department, Universidade Federal de Viçosa	Brasil	Física estadística aplicada - ASP Física Biológica - FisBio Grupo de Teoría de Campo y Simulaciones Computacionales en Física de la Materia Condensada - TCFMC	https://sites.google.com/site/giscufv/
Antropocaos Universidad Nacional de Buenos Aires	Argentina	Redes dinámicas y modelización en antropología: nuevos relámpagos teóricos y su impacto en las prácticas Conocimientos y prácticas sobre producción, procesamiento y consumo de alimentos en el contexto local y migrante	https://www.antropocaos.com.ar/
Valparaiso Instituto de sistemas Complejos	Chile	Redes biológicas Espacio de conocimiento y complejidad Pensamiento complejo y Hegel	http://www.sistemascomplejos.cl/

<p>Grupo de simulaciones en sistemas complejos Universidad de Chile</p>	<p>Chile Santiago</p>	<p>Complejidad en plasmas Tránsito en ciudades La mecánica estadística no es extensa Control del caos Nanoclusters Flujo de peatones Terremotos Plasmas astrofísicos y espaciales Redes complejas Econofísica</p>	<p>http://fisica.ciencias.uchile.cl/complex/complex.html</p>
<p>Grupo de caos y complejidad del Centro de Física Fundamental de la Universidad de los Andes</p>	<p>Venezuela Mérida</p>	<p>Caos espacio-temporal Formación de patrones Procesos dinámicos en redes Comunicación y criptografía caótica Dinámica de sistemas fisiológicos Redes de mapas acoplados, autómatas celulares Comportamientos colectivos emergentes Sociofísica Econofísica</p>	<p>http://www.ciens.ula.ve/cff/caoticos/ES/Investigacion.html</p>

Fuente: *Elaboración propia*

5 TIPOS DE INVESTIGACIONES REALIZADAS

En la Universidad de Michigan se detectó un estudio sobre la movilidad residencial y la segregación que si bien no está asociada a la gestión ambiental tiene relación.

En el interesante y prestigioso C 3 de la UNAM se detectaron varias investigaciones de gran interés.

6 Principales investigadores

De lo anterior, se concluye que el estudio sobre gestión ambiental es escasa tanto en México como en el mundo. El Instituto de Nueva Inglaterra aunque tiene investigaciones de interés sobre negociación y administración, no existe ninguna sobre gestión ambiental. El centro que más a trabajado el tema a nivel internacional es el Instituto San Fe con su macro línea sobre Ciudades, Escalado y Sostenibilidad.

En México el principal centro de investigación es sin duda el centro C3 de la UNAM seguido por el Instituto Politécnico Nacional.

En cuanto a los investigadores los más relevantes a nivel mundial son: Mark Newman

Rebert Axtell, Samuel Bowels, Joshua Epstein y Geoffrey West.

En México los investigadores más destacados en el campo de la gestión ambiental en sistemas complejos son: Por la UNAM Christopher Rhodes Stephens, Octavio Miramontes, Denis Boyer. María Concepción García Aguirre, Eliane Ceccon, Alfonso Valiente Banuet y Carlos Gershenson. Por el IPN Es el autor de este informe Luis Arturo Rivas y los investigadores, Magali Cárdenas y Maria del Pilar Peña.

Las metodologías más comúnmente usadas son las siguientes: Análisis conceptual que es con mucho la técnica más usada junto con la minería de datos y el Análisis geoespacial. Más escasos pero de gran interés por ser herramientas propias de sistemas complejos destacan los Modelos de diseño colaborativo, análisis de escala Identificación de patrones de escala general en la infraestructura urbana, aplicación de aprendizaje automático, métodos de estadística espacial para el estudio de los datos socioeconómicos, modelos de elección discreta, simulación basada e agentes. Modelados de nicho y minería de datos, modelos de caminantes aleatorios y determinista, el autómatas celulares análisis de redes con CYTOSCAPE

Se observa también la Modelación con ecuaciones estructurales que en realidad no es una técnica de análisis de sistemas complejos propiamente dicha.

Conclusiones

A continuación, se dará respuesta a las preguntas de investigación asociadas a las siete categorías de análisis de este proyecto.

El centro más prestigioso del mundo es el Instituto Santa Fe. En México el principal centro de investigación de Latinoamérica y México es sin duda el C3 de la UNAM seguido por el CCS del Instituto Politécnico Nacional, el cual aunque es un centro virtual aglutina entre sus investigadores a varios niveles II y III del SNI con una apreciable producción.

Las metodologías más comúnmente usadas son las siguientes: Análisis conceptual y filosófico que es con mucho la técnica más usada junto con la minería de datos y el análisis geoespacial. Más escasos pero de gran interés por ser herramientas propias de sistemas complejos destacan los modelos de diseño colaborativo, análisis de escala, identificación de patrones de escala general en la infraestructura urbana, aplicación de aprendizaje automático, métodos de estadística espa-

cial para el estudio de los datos socioeconómicos, modelos de elección discreta, simulación basada en agentes, modelados de nicho y minería de datos, modelos de caminantes aleatorios y determinista, autómatas celulares y análisis de redes con CYTOSCAPE.

Dentro de los softwares usados más comúnmente se distinguen tres clases distintas. Softwares de visualización, herramientas de programación y modelación basada en agentes. Dentro de los Software de visualización y cálculo de medidas básicas están: Gephi Pajek NodeXL. En las herramientas de programación para análisis de sistemas complejos cabe mencionar a: UCInet, Igraph NetworkX SONIA y CYTOSCAPE. Finalmente, para la modelación basada en agentes destaca Net logo.

La investigación en sistemas complejos mediante el uso de softwares y herramientas analíticas y de simulación aún está en constante evolución. Este campo constituye una gran área de oportunidad para jóvenes investigadores que decidan dedicar su vida a la comprensión de patrones emergentes que son resultados de interacción y múltiples influencias que son imposibles de observar y analizar mediante la ciencia tradicional.

Capítulo 9.

Modelación y Epistemología en Sistemas Complejos

Este capítulo está organizado de la siguiente forma: En la primera parte describiré la influencia que tuvieron la Conferencias Macy en la eclosión del estudio de los sistemas complejos. En el segundo apartado se describe los contraste metodológicos entre el Racionalismo, el Empirismo el Holismo y la Complejidad y en la tercera parte se describen los dos grandes enfoques epistemológicos en sistemas complejos y se propone una modelación general como un pretensioso marco epistémico- metodológico global que integre las técnicas, enfoques y modelos descritos en esta obra.

PARTE 1) LA INFLUENCIA DE LAS CONFERENCIAS DE MACY EN EL ESTUDIO DE SISTEMAS COMPLEJOS

Estas conferencias se consideran el antecedente fundamental de los sistemas complejos. Fueron promovidos por la Fundación Joshian Macy en la ciudad de Nueva York y fueron potenciadas desde 1946 hasta 1959.

En total fueron 10 reuniones. Su originalidad fue que a diferencia de los congresos tradicionales donde los investigadores presentan un trabajo que es revisado por pares, con un trabajo de estructura formal. En las conferencias hubo exposiciones orales de los grandes nombres de diferentes campos de las ciencias naturales y las ciencias sociales que aspiraban a sentar las bases de una “ciencia general del funcionamiento de la mente humana”. Los primeros encuentros despertaron gran interés con la asistencia de científicos como Gregory Bateson, Margaret Mead, Lawrence Kubie, Arturo Rosenblueth, Walter Pitts, Claude Elwood Shannon (padre de la teoría de la información), William Ross Ashby, Yehoshua Bar-Hillel, Gregory Bateson, Alex Bavelas, Julian H. Bigelow, Herbert G. Birch, John R. Bowman, Henry W. Brosin, Oskar Morgenstern, FSC Northrop, Walter Pitts, Claude Shannon, Gerhardt von Bonin, Heinz von Forester, John von Neumann, Heinz Werner, Norbert Wiener, Talcott Parsons y Robert Merton. Algunos de los cuales han sido citados en este libro por ser los creadores de conceptos fundamentales en la teoría de sistemas complejos.

El ambicioso objetivo de las conferencias de Macy era estimular la transdisciplina en torno a un objeto tan amplio como la mente humana y sus esfuerzos por comprender su significado desde diferentes perspectivas y restaurar la unidad de la ciencia. Hubo diferentes conferencias diseñadas para cubrir temas específicos, que sumaron en total de 160 conferencias (Fremont-Smith, 1960).

La primera conferencia tuvo un efecto seductor en los científicos más renombrados de la época, ya que integro a científicos naturales y científicos sociales. En la sesión inaugural Von Neumann y Lorente de Nó, realizaron una descripción detallada del estado del arte en computación digital y neurofisiología, respectivamente. Wiener dio una descripción general de los mecanismos automáticos de autorregulación. McCulloch describió que las redes neuronales simuladas pueden emular el cálculo de la lógica proposicional. Bateson propuso una teoría del sonido en las ciencias sociales, diferenciando el aprendizaje “y el” aprender a aprender “. Su intervención fue una de las más estimulantes por las discusiones que provocó, preguntando si las computadoras pueden lograr alguna forma de aprendizaje y cómo lo harían- Wiener y Von Neumann propusieron que sus teorías y modelos serían útiles en economía y ciencias políticas.

Este diálogo vanguardista entre científicos naturales y de ciencias sociales, inédito hasta el momento, es una de las aportaciones más destacadas de las conferencias. Lamentablemente como la mayoría de estas conferencias eran solo orales y no fueron filmadas, gran parte de la sabiduría se quedó entre los asistentes y murio con ellos.

En la segunda conferencia se debatió la propuesta de los mecanismos teológicos de Beateson en la sociedad. A esta conferencia fueron invitados famosos sociólogos como: Talcott Parsons y Robert Merton, quienes invocarían los principios de los sistemas en contra de las propuestas de Wiener y Von Neumann, escuchando sus ideas y discutiendo cómo usarlas en las ciencias sociales.

La tercera conferencia giró en torno a los mecanismos teleológicos²⁶ y los sistemas causales. Desafortunadamente, lo único que quedó con evidencia de las discusiones fue una nota taquigráfica de Margaret Mead que resultó indescifrable ya que ella, como antropóloga de campo, usaba un estilo personal de escritura

26. La teología es una rama de la filosofía que surgió en Grecia, y estudia los objetivos que persigue un ser. Según Aristóteles, tiene cuatro causas: la formal que asocia el ser a algo, la material, la eficiente, que explica lo que lo provoca y la finalidad, que explica para que existe.

en taquigrafía. El tan esperado enfrentamiento entre los psicólogos Kurt Lewin y Koller no se produjo por la muerte del primero.

La cuarta conferencia giró en torno a los mecanismos circulares de causalidad y retroalimentación en los sistemas biológicos y sociales. Hubo un sabroso enfrentamiento entre Pitts y McCulloch al criticar la teoría Gestalt del campo de Köhler y su base empírica. A la que calificaron como teorización borrosa o insípida. Esta crítica mordaz amenazó la participación de Harrower y Teuber asombrados por la ferocidad de la crítica a Köhler considerada grosera para algunas sensibilidades.

El quinto encuentro resultó ser particularmente interesante para los sistemas complejos, ya que se abordaron por primera vez los mecanismos circulares y causales para los sistemas biológicos y sociales, y la seductora propuesta de Norman Weiner de orden versus caos y el trabajo original de Pitts que proponía un modelo formal que patrones identificados en el picoteo de los pollitos.

La sexta conferencia fue escenario de un amargo debate entre el controvertido Pitts y McCulloch confrontado ahora a Von Neumann que había osado criticar su modelo neuronal, que explique en el capítulo 5, el funcionamiento del cerebro y su “complejidad” que debe incluir otros mecanismos, como la estructura bioquímica de la neurona, en los que coincidieron los especialistas en fisiología asistentes.

En el lado positivo, en esta conferencia, se acuñó el término Cibernética sugerido por Von Forester a las obras de Weiner, un concepto que se volvería muy popular en todas las ciencias a partir de entonces.

La Séptima conferencia se denominó: “Cibernética: mecanismos circulares causales y retroalimentación en sistemas biológicos y sociales”. Uno de los ejes fue la distinción entre “analógico” y “digital”. Gerard se quejó que de la preeminencia desproporcionada de la cibernética y la publicidad inherente que opacaba las aportaciones de los demás campos.

La octava conferencia se caracterizó por la ausencia de Weiner y Von Neumann que no asistirían a New York, por el desacuerdo surgido con Pitts y McCulloch por motivos personales ya que además de su estilo confrontativo se había metido con la esposa de Weiner. Nunca se volverían a hablar.

En lo positivo, Bavelas destacó la aplicabilidad de la teoría de juegos de Von Neumann a las motivaciones psíquicas y la “teoría de la información” como instrumentos para comprender la cognición humana.

La novena conferencia tuvo un gran éxito de asistentes e invitados y marcó el pico más alto de asistencia a los congresos de Macy's.

En esta ocasión Kubie minimizó la controversia surgida sobre el papel de la teoría psicoanalítica y propuso que era similar a la naturalista ya que solo observa las emociones.

Guest Quastler propuso por su parte, la aplicación de la cibernética a procesos bioquímicos y celulares. Idea que creó los cimientos de la “complejidad” biológica. Este enfoque ofreció una de las primeras métricas de “estudios de complejidad”.

Bigelow criticó a los expertos en ciencias sociales por caer en una trampa de rendirse a la fascinación por las matemáticas.

La última conferencia recibió una masiva respuesta en público pero resultado menos estimulante y marco el final de las conferencias. Se llevó a cabo en Nueva Jersey para alentar la participación de Von Neumann, pero marcó el final de las ricas contribuciones que llevaron a este ciclo. La sombra del macartismo hizo su parte. Aunque su promotor centro McCulloch intentó redactar un resumen final de los consensos alcanzados durante las 10 Conferencias de Macy's no lo consiguió lo cual revela en parte, el carácter polifónico y multidisciplinario de este ejercicio de discusión abierta e irreplicable que es sin duda precursor del estudio de sistemas complejos (American Sociedad de Cibernéticos, 2019).

La epistemología proviene del griego *Episteme* que significa conocimiento. El concepto es fundamental en un científico ya que es una rama de la filosofía de carácter transversal que crea y vincula todas las ciencias. Entre más estudia uno y penetra en las parcelas de la especialización nos condena por voluntad propia o impuesta, y con el paso del tiempo, uno se percata que el conocimiento esta siempre relacionado.

Es común que se le confunda con la Teoría del Conocimiento, con la Filosofía de la ciencia y con la Metodología. La teoría del conocimiento estudia el conocimiento entendido como una relación entre sujeto y objeto, la filosofía de la ciencia investiga el conocimiento científico y la práctica científica, y la metodología de la investigación, se refiere a la elección de un método pertinente para estudiar un problema.

La epistemología está enfocada en demostrar la validez y alcance del conocimiento mediante la argumentación, la demostración, la experimentación y su aliada la evidencia empírica.

En el pasado el *episteme* (la ciencia) se diferenciaba del *Tekne* (técnica) que era la instrumentalización del conocimiento y del *Doxa* que es el conocimiento general resultado de la experiencia cotidiana. En la actualidad las tres se han reunido y la investigación aplicada y el conocimiento tácito que se considera a veces sabiduría, se armonizan y se reúnen. Los libros de metodología en esto están muy atrasados y siguen repitiendo en viejo discurso excluyente que ningunea a la tecnología y la sabiduría popular que es resultado muchas veces de una acumulación de experiencias que se transmite por generaciones.

La aportación de la ciencias sociales a la ciencia ha creado nuevos métodos de acceso al conocimiento que trascienden el empirismo.

La epistemología tiene un amplio recorrido que viene desde Platón y Parménides, sin embargo, el estudio sistemático se inicia en el siglo XVI con pensadores como Descartes Francis Bacon y Kant. Descartes es el pensador que le dio a la epistemología su nombre más memorable le llamaba: *la búsqueda de la certeza* (Descartes, 2004).

La epistemología tiene dos grandes preguntas: como se crea el conocimiento y que es el conocimiento verdadero.

Las respuestas a estas preguntas han generado todas las escuelas de epistemología existentes hasta la fecha.

Los ejes del análisis epistemológicos también son solo dos: El sujeto que investiga y el objeto a investigar. La forma de generar conocimiento explica todas las corrientes epistémicas que buscan explicar los fenómenos de la realidad física o social a través de las perspectivas y enfoque que tema el sujeto y las técnicas y métodos que usa para estudiar el objeto.

Puesto que este no es un libro de epistemología me limitare a explicar solo los dos grandes debates que involucran a los sistemas complejos que son el enfrentamiento epistémico entre racionalismo versus empirismo y el debate entre holismo y sistemas complejos.

EMPIRISMO VERSUS RACIONALISMO Y HOLISMO VERSUS COMPLEJIDAD

Esta es una de las discusiones epistemológicas más importantes en sistemas complejos. El empirismo, a menudo se confunde con la reducción, lo cual es una actitud humana que se asocia a su naturaleza en su afán por comprender el mundo y los fenómenos que lo afectan. Comprender el origen del universo, el mundo y el ser humano, es razón de la creación de los dioses. El politeísmo fue el mecanismo de las sociedades precientíficas para buscar una explicación basada en la religión y la fe. Fruto de esta inercia, en la ciencia. La Física, madre de las ciencias junto con la Química, buscaron en sus inicios reducir la complejidad de los fenómenos a la mecánica clásica imperfecta para explicar fenómenos incomprensibles para la lógica común como la relatividad o el caos.

Para el Empirismo la única forma de conocimiento valida es la experiencia sensorial.

Reducción y Reduccionismo

El reduccionismo, también llamado monismo científico, está asociado a la corriente epistemológica del positivismo, que postula que el conocimiento “auténtico” sólo puede surgir de observación-hipótesis-experimentación a través del método científico. El positivismo tuvo su mayor auge a principios del siglo XIX, promovido en Francia por Saint-Simon y Auguste Comte, y en el Reino Unido por John Stuart Mills y Francis Bacon.

En el Positivismo-reduccionismo, el objetivo del conocimiento de explicar la causalidad de los fenómenos con leyes universales, a través de la inducción -deducción.

El positivismo y la aplicación del método científico, se reivindican como el único camino no solo en las ciencias naturales sino incluso en las ciencias sociales, la sociología e incluso la historia. Se argumenta que solo la evidencia documentada es válida, y por tanto se descartan las interpretaciones de los fenómenos. Según este enfoque, el saber que no se basa en la observación y la experimentación y se expresa con matemáticas y/o estadística no es un conocimiento válido (Giddens, 1974). Esta postura arrogante descartó a todas las ciencias y disciplinas que proponen concepciones holísticas y desestima por supuesto a la complejidad y el pensamiento complejo.

Hay tres tipos de reduccionismo: el ontológico, que es la investigación *del ser como es*. Bajo este reduccionismo el ser humano es un animal, no es más que un conjunto de agregados químicos fisiológicos que a su vez tienen átomos y partículas.

El reduccionismo teórico afirma que los conceptos de un campo de investigación pueden y deben reducirse a los de otro campo de menor complejidad. Esta idea ya había sido planteada por los filósofos presocráticos y por Aristóteles y sus cuatro elementos, en el corpuscularismo de Robert Boyle, por James Maxwell y su propuesta de relacionar las ondas electromagnéticas a las vibraciones del éter, y por la pretensión de Ludwig Boltzmann de explicar la segunda ley de la termodinámica en términos mecánicos (Boido & Lomardi, 2019, p. 33). Todas estas ideas que ahora sabemos son falsas, han propiciado que ser un reduccionista sea una grave ofensa en los debates científicos.

El reduccionismo metodológico tiene mejor imagen y sostiene que la mejor estrategia científica es intentar reducir las explicaciones de los objetos a las entidades más pequeñas posibles. Fue propuesto por Descartes, quién sostenía conocimiento es un binomio análisis - síntesis. El análisis nos obliga a fragmentarlo y descomponerlo por disyunción para estudiar sus componentes más elementales, y la síntesis, que nos permite integrar sus componentes y reconstruirlo a partir de estos para comprenderlo en su totalidad (Morin, 1998). Este reduccionismo metodológico es conocido por las siglas. DRSE: Disyunción, reducción, simplificación, exclusión, y constituye uno de los paradigmas de la ciencia determinista.

En las ciencias naturales, la reducción metodológica sigue el siguiente procedimiento (Viniegra, 2014):

1. Disyunción: El objeto estudiado y el medio ambiente son aislados en un laboratorio.
2. Reducción: El objeto se divide en subsistemas y estos a su vez en las unidades elementales
3. Simplificación: Se crea un modelo del fenómeno y la explicación de sus interrelaciones usando el paradigma : “el todo no es más que la suma de las partes”.
4. La exclusión: en las excepciones del modelo se usa el principio de *exclusión del discordante*.

Una de las grandes paradojas del positivismo-reduccionismo que proclama el imperio del método científico es su estrechez teórica metodológica, que ha cons-

truido auténticos dogmas basados en paradigmas que se vuelven inconscientes, se jactan de una autoridad axiomática y son considerados invulnerables a la crítica por su bata blanca de científico. “Está científicamente comprobado” es un argumento que utilizan los reduccionistas y su uso ha contaminado incluso la publicidad y el marketing de productos saludables y “científicos” que resultan ser una estafa. El abuso de la exclusión de los discordantes ha creado mitos ridículos como la existencia del “Eter” o la burla y discriminación que sufrió el lingüista Yuri Korónozov cuando descifró la lengua de los mayas a partir de un método que no había sido santificado por los grandes lingüistas mayas de la época, como Eric Thompson, que durante años había intentado descifrar los símbolos usando equivalencias de las lenguas latinas y alfabéticas cuando en realidad se trataba de logogramas. Ver figura 1

Figura 1. ¿Reduccionismo versus Holismo?



Fuente: (Topializ, 2019) y (The maya, 2019)

La respuesta al reduccionismo ha venido de la filosofía de la mano de la hermenéutica, que es la interpretación pura de los hechos basada en deducciones analíticas del discurso y la observación. Así como la Física es la madre del empirismo, la Hermenéutica es la madre de la hermenéutica se ha convertido en un territorio cualitativo y se han creado técnicas de observación y recolección de datos, incluido distintos software que le ha dado un nuevo peso, aunque sea visto aun con cierta conmiseración y aire de superioridad por parte de los científicos. Formados en el reduccionismo positivista que han hecho de sus metodologías una religión y un dogma que es una barrera para su evolución.

Estas divisiones han divorciado la ciencia de las humanidades creando ... “dos universos separados: uno, pragmático, utilitario, predecible, técnico, objetivo,

aséptico, empírico; otro, de poesía, artes, filosofía, valores, vida privada, sentimientos, amor, pasión ...”(Viniegra, 2014, pág. 254).

El Holismo

Fue Christiaan Smutsek quien creó este concepto en su libro *Holism and Evolution*.

... “Tanto la materia como la vida consisten en estructuras unitarias cuya agrupación ordenada produce totalidades naturales que llamamos cuerpos u organismos. Este carácter de” totalidad “nos encuentra en todas partes y apunta a algo fundamental en el mundo. Holismo (del griego ὅλος [hólol]: todo) es el término aquí acuñado para esta característica fundamental de la totalidad en el mundo ...”(Smuts, 1926).

Con el paso del tiempo el concepto derivó en una corriente epistemológica que estudia los fenómenos naturales y sociales desde su totalidad. Esta escuela afirma que una entidad no se puede explicar por sus elementos constitutivos. El holismo defiende la sinergia entre las partes y defiende la idea que lo representa: el todo es más que la suma de sus partes

Sin embargo, esta idea no es nueva ya que fue propuesta en su libro *Metafísica* por Aristóteles sin embargo, el concepto fue acuñado por Smustek.

En la actualidad existen varios tipos de holismos: ontológicos, epistemológicos, metodológicos, lógicos, semánticos de ciencias humanas. El holismo en las ciencias de la salud postula que en el bienestar físico no se puede explicar por el funcionamiento de un solo órgano sino entre la interacción de todos los sistemas que componen el cuerpo humano y sus interacciones con el medio ambiente.

A diferencia del reduccionismo que enfatiza que el observador debe ser desapasionado y neutral al estudiar los fenómenos. En el holismo el observador se considera relevante y con una intervención recíproca. Como observador y como sujeto participante de los fenómenos sociales.

Con el paso del tiempo, el holismo se ha integrado como un enfoque válido en todos los campos. Se usa en Biología, en Psicología, en Psiquiatría, Física,- y de una forma abrumadora y algo abusiva-, en las ciencias sociales. En Sociología, Durkheim lo conciben como la única forma de entender los fenómenos sociales. Durkheim llega incluso a considerar una decisión tan personal como el suicidio como consecuencia de los fenómenos sociales y la influencia de la cultura y la

comunidad. Argumenta en su famoso libro sobre el suicidio que hay 4 tipos de suicidio asociados con el sistema social. El suicidio egoísta o anómico que se observa cuando los lazos sociales son débiles para contener la decisión. El suicidio altruista que se observa en sociedades primitivas donde el suicidio lo hace para evitar ser un lastre para su entorno. Y suicidio fatalista donde la exigencia de altos estándares o altos niveles de coerción y el suicidio por opresión lo convierten en una opción liberadora (Durkheim, 1965).

En administración y negocios, el pensamiento sistémico y el holismo también se utilizan ampliamente. La competitividad organizativa, la eficiencia y el desempeño superior se consideran resultados de la acción colectiva.

Holismo versus Sistemas Complejos

Aunque en primera instancia se podría pensar que los sistemas complejos son sinónimos y conceptos intercambiables, según Morin, no es así.

El todo es más que la suma de sus partes, pero el todo es menos que la suma de sus partes. Según Morin .. *“El holismo es parcial, unidimensional y es una visión simplificada del todo ..”* (Morin, 2008, pág. 373).

Este esfuerzo de sumar las partes reduce los otros sistemas para abarcar el todo. El holismo es, por tanto, una simplificación del conjunto que en un descuido puede ser su caricatura. Es una pretensión humana de entenderlo todo y ponerlo en una sola bolsa, que es su afán globalizador, silencia la voz de la diversidad. Morin (1992 pág. 372) ofrece la siguiente descripción del holismo:

：“El holismo es una visión parcial, unidimensional y simplificadora del todo. Reduce todas las demás ideas relacionadas con los sistemas a la idea de la totalidad, mientras que debería ser una cuestión de confluencia. El holismo surge así del paradigma de la simplificación (o reducción de lo complejo a un concepto maestro o categoría maestra) (...)

... “un sistema no es sólo una composición de unidad a partir de la diversidad, sino también una composición de la diversidad interna a partir de la unidad ...” ... (... ..) la organización dinámica o el surgimiento que tiene lugar en sistemas donde las interacciones locales permiten una estructura global que, a su vez, retroalimenta para restringir el comportamiento de las partes a través de un proceso de causalidad descendente. ..”(Morin, 2008, pág. 373).

Teóricos de la complejidad, como Holland, proponen que la Teoría de la Complejidad podría tener más méritos en ser llamada *Teoría del Todo*, al proponer la identificación de patrones del sistema que permite visualizar la multiplicación de fuerzas que no pierden su identidad en la comprensión de todo.

La teoría de la complejidad en efecto, es un instrumento superior de análisis de la realidad ya que asume que los mutan del equilibrio y orden a las rutas del caos. La comprensión del todo identifica nuevas propiedades y comportamientos emergentes en la naturaleza y sociedad. La evolución es una respuesta de la naturaleza a las amenazas de extinción. La tierra, a pesar de haber sufrido cinco extinciones masivas, está llena de vida. Hay tantos sistemas desconocidos que la ciencia moderna no ha podido descifrar. Hay 35 mil millones de microbios y solo se conoce 1 millón. El cerebro humano tiene 85 mil millones de neuronas y cada neurona tiene alrededor de 10,000 conexiones cada una. A pesar de las nuevas tecnologías, aún se desconoce de dónde proviene la conciencia (Cheney, 2019).

En definitiva, no debemos elegir entre reduccionismo, ni holismo, conocer las partes no es suficiente, la teoría de la complejidad propone entender las relaciones y sus partes sin embargo, en nuestra opinión llamarla la teoría del todo es también un exceso. Comprender el conjunto e identificar los patrones que surgen de sus interrelaciones aporta evidencia pero no permite conocer el todo, acaso comprenderlo mejor nos permite atisbar destellos de luz a las brumas de la ignorancia que siempre nos acecha. La complejidad constituye un marco científico para comprender las interacciones y la dinámica de los sistemas y aporta conceptos como el Principio Hologramático, y la irreversibilidad de los sistemas.

En el siglo XX las dos grandes tradiciones epistémicas, empirismo y racionalismo se potencian. La *Empirista*, encabezada por los empiristas ingleses y más recientemente por Jean Piaget, un psicólogo y biólogo suizo que se considera el padre de la epistemología genética según la cual el desarrollo de las capacidades genéticas de las personas, como son las habilidades y la inteligencia solo requieren los estímulos adecuados para florecer. A partir de estas ideas realizó una propuesta evolutiva de interacción-ejercitación y un medio ambiente que las favorezca (Piaget, 1971).

Durante el siglo XVI y XVII al empirismo al se le añadió durante un tiempo el gentilicio de “ingles”. Fueron Francis Bacon, (propuso las reglas de método experimental), John Locke (“el único conocimiento humano esta basado en la experiencia”), George Berkeley (“os objetos solo existen si son percibidos”) y David Hume (“la verdad se justifica únicamente con la experiencia”).

La postura común de ellos es que el conocimiento científico es la única forma de conocimiento legítimo.

La segunda tradición epistemológica estuvo encabezada por Karl Popper que llamaremos genéricamente como *Racionalista*.

El racionalismo hace uso del razón frente a la fe, la autoridad, y la experiencia empírica.

Históricamente, el Racionalismo tuvo como primer promotor a Renato Descartes quien en su libro el Discurso del método propuso cuatro reglas para realizar una investigación.

1. *Describir la evidencia*
2. *Análisis de las partes: Reducir lo complejo para entenderlo correctamente.*
3. *Deducción: encontrar las verdades complejas a partir de la deducción de las simples.*
4. *Comprobación: Comprobar si lo descubierto en cierto y verdadero (Descartes, 2004).*

Además de Descartes y Popper ha habido destacados racionalistas entre los que cabe mencionar a Christian Wolff, Baruch Spinoza y Gottfried Leibniz.

Popper es sin embargo, el científico moderno que más le dio aliento en los años recientes al Racionalismo. Fue un filósofo nacido en Viena, pero convertido en inglés por decisión propia, donde se sintió a salvo de los nacionalismos y la locura del nazismo por sus orígenes judíos pese a que siempre se declaró agnóstico. Durante toda su vida mantuvo una oposición al sionismo, al que llegó a calificar incluso como una forma de racismo. Karl Popper tuvo una estupenda formación matemática para un filósofo. Su supervisor de tesis, aunque era un científico respetado con una interesante formación de lingüista y psicólogo le dio pie a afirmar lo siguiente en una reflexión con aroma socrático.

..”Porque fue mi maestro quien me enseñó no solamente cuan poco sabía, sino también que cualquiera que fuese el tipo de sabiduría a la que yo pudiese aspirar jamás, no podría consistir en otra cosa que en percatarme más plenamente de la infinitud de mi ignorancia...” (Popper, 1977).

La figura 2, presenta al joven Karl Popper cuando vivía en Viena y disfrutaba la biblioteca de su padre de 14,000 volúmenes. La he elegido para enfatizar como

una buena biblioteca puede crear genios y el efecto que tiene en los niños que sus padres tengan libros en casa y tengan en ella un lugar preponderante.

Figura 2. Karl Popper a los 15 años en la biblioteca de su padre de 14,000 volúmenes



Fuente: (Kiddle, 2020)

Karl Popper fue el líder *del racionalismo crítico* donde tuvo un papel central en la epistemología. Según Popper el conocimiento científico no avanza confirmando nuevas leyes, sino descartando aquellas que contradicen la experiencia. A esta corriente también se le conoce como *holismo conformacional*. Popper sostenía con vehemencia que la evidencia por sí sola es insuficiente para determinar qué teoría es correcta. Criticaba que sólo se considera una proposición científica a aquella a que sea resultado de un experimento o de una observación que pueda contradecirlas. Así la teoría de la relatividad y la mecánica si son científicas pero el marxismo y el psicoanálisis no los son. A esta propuesta Popper le llamo *criterio de demarcación*. Aun cuando su obra es muy basta, el libro recomendado para profundizar en su concepto de epistemología es la *La lógica de la investigación científica*, publicada en alemán en la vibrante Viena de inicios de siglo. (Pooper, 1934). El libro de Popper como ha ocurrido con la obra de grandes pensadores como Freud y Nietzsche, paso practicante inadvertida. Solo cuando se publicó en inglés en 1959, ¡25 años después ¡, sus provocadoras ideas tuvieron el impacto que merecían.

La obra de Popper tuvo muchos críticos y es conocido su enfrentamiento con sociólogos de la escuela de Frankurt, con filósofos de la talla de *Theodor Adorno* y

quién a la sazón era su discípulo: *Jürgen Habermas*. A este enfrentamiento se le se conoció como *la disputa positivista (Positivismusstreit) de la sociología alemana*. Todo inicio en el congreso de la sociedad alemana de sociología en el año 1961. Allí *Popper* afirmó que toda teoría con pretensiones científicas, de las ciencias sociales, era falseable. Por falsabilidad se entiende la capacidad de una teoría o hipótesis de ser refutada por potenciales pruebas que la contradigan. Fue una bomba epistemológica.

En la corriente de *Popper* figuran también filósofos como *Gastón Bachelard* quién sin ser su seguidor por sus alturas intelectuales inclasificables, postuló que la ciencia no puede producir verdad sino una nueva forma de preguntar, y según afirmaba de una manera poética ...” *el conocimiento de lo real es una luz que siempre proyecta alguna sombra.*” (Bachelard, 1989). Según *Bachelard*, la ciencia solo se supera sorteando obstáculos epistemológicos y el conocimiento sólo avanza destruyendo conocimientos falsos.

El resumen de los enfoques epistemológicos de las dos escuelas es el siguiente:

Para *Popper*, el conocimiento válido debe sustentarse en enunciados científicos que puedan ser refutados constantemente.

Para *Piaget* el conocimiento tiene un carácter fundamentalmente científico, es decir, basado en un cuerpo teórico y empírico, basado en hechos y números.

Además de estos dos enfoques epistemológicos clásicos en los últimos años se han creado perspectivas epistemológicas: El racionalismo, que destaca a la razón como el vehículo para hacer investigación. El pragmatismo que estudia la manera en que el contexto influye en la interpretación del significado. El constructivismo que se desarrolla a partir de hipótesis del investigador (*Creswell*, 1998).

El escepticismo que plantea dudas sobre las verdades aceptadas.

El positivismo que postula que el único saber válido es que previene de la paliación del método científico y la Hermenéutica que es usada por los investigadores cualitativos para interpretar el conocimiento.

Otra clasificación de interés es la propuesta por (*Padron*, 2007) quién categoriza los métodos de investigación en función de sus variables epistemológicas y ontológicas²⁷, conforme su ilustra en el cuadro 1 con nuestra clasificación epistemológico - ontológica de la ciencia.

27. La ontología estudia al ser y sus propiedades.

Cuadro 1. Enfoques Epistemológicos de la Ciencia

	Enfoques epistemológicos		
Variable Ontológica	Empirismo	Racionalismo	Pensamiento complejo
Idealismo	Hermenéutica con Software	Interpretación reflexiva	Teoría del todo
Reduccionismo	Experimentos	Abstraccionismo lógico matemático	Emergencia Hologramático Autoorganización No linealidad Formación de patrones
Complejidad	Modelos de simulación continuos y discretos	Pensamiento Complejo	Transdisciplina

Fuente: elaboración propia a partir de Patrón

Estas tendencias epistemológicas buscan con sus propuestas y herramientas, proponer modelos científicos que expliquen a los diversos problemas de la ciencia y el conocimiento.

TIPOS DE MODELACIÓN CIENTÍFICA

Según Neuman, las ciencias hacen modelos que describen fenómenos observados. (Von Neuman, 1995). Uno de los retos de la ciencia en cualquiera de sus campos radica en la reducción de la realidad a una escala que resulte comprensible para la limitada inteligencia humana.

Aunque existen personas con una inteligencia deslumbrante que son capaces de percibir la realidad y reducir de manera simbólica mediante modelos mentales, estos son una minoría que frecuentemente pasa desapercibida ya que los sistemas educativos tienden a la domesticación de esas mentes privilegiadas. Si uno no sabe de fútbol y de música, esta perdido en las conversaciones cotidianas. Aunque es una de las características de la sociedad de masas, no deja de sorprender lo increíblemente populares que son los futbolistas y los cantantes cuya única habilidad es acaso su inteligencia quinésica y musical respectivamente. El tener una buena voz y ser moderadamente guapo es garantía de un éxito desmesurado y de una riqueza increíble. El meter goles y ser hábil en el *área chica* asegura la fama y accesos a los medios masivos de información de una manera desproporcionada.

Una explicación de tal preponderancia de estas estrellas fugaces tiene explicaciones económicas. El futbolista y el cantante son tan famosos por su capacidad de generar dinero. Hablando en términos de complejidad. Son el nodo estratégico que desencadena un conjunto de acciones colectivas. Una jugada heroica es un input suficiente para desencadenar la venta de millones de camisetas. Es la cumbre del especialísimo capitalista. Como una venganza para los envidiosos como yo, la fama conseguida suele perderse casi instantáneamente al ganar unos kilos de más o por una lesión desafortunada. Tanto el cantante como el futbolista representan de alguna manera el triunfo del especialista y la fugacidad del protagonismo de lo inmediato.

En el estudio de los sistemas complejos son necesarias otras habilidades alejadas del especialísimo. Una de las cosas más fascinantes, es su formación académica poco ortodoxas tienen estudios en Derecho y Biología, Genética y Economía, Ingeniería e Historia del Arte, Lingüística y Matemáticas ó Ciencias Administrativas y Estudios Europeos.

Es verdad que en el estudio de los sistemas complejos los físicos están sobre representados en los congresos de complejidad, porque la inteligencia lógico matemática parece la única capaz de percibir relaciones conjuntas. En mi vagar `por los distintos campos del conocimiento, los científicos que más me impresionan son siempre físicos, matemáticos, últimamente biólogos y paleontólogos. En los últimos años, varios físicos han desembarcado en el campo de la complejidad haciendo descubrimientos sensacionales. Investigadores como Mark Newman (redes complejas). Albert- Lazlo Barabasi (redes de escala libre), Duncan Whatts (propiedades del mundo pequeño) han creado de hecho una nueva ciencia que es la ciencia de redes que ha sido descrita en el capítulo 5.

La ventaja que suelen tener los físicos y los matemáticos es que basan sus grandes paradigmas en símbolos y en modelos de reducción de la realidad. Este *reduccionismo*, aunque ha sido criticado siempre por los filósofos, es una manera práctica de comprender el mundo mediante modelos.

Un modelo como ya hemos dicho, es una reducción aceptable de la realidad. En la medida que un modelo es capaz de *captar la esencia misma de la realidad* y explicarla con acierto, el modelo resulta más útil. Entre más simple es un modelo y con él se pueden entender fenómenos de nuestro mundo, mucho mejor. Más simple es siempre mejor.

Según Durugbo, Tigrawi & Alcock (1990) un modelo es una representación propositiva de la realidad con un cierto nivel de detalles. Este *nivel de detalles* es lo que suele diferenciar a los modelos.

De un modelo convencional podríamos decir que *es una representación de la reduccionista de realidad*. No deseo usar la palabra caricatura, por sus connotaciones negativas, sin embargo, es una metáfora válida. En la caricatura de un político, por ejemplo, uno reconoce al personaje. De una manera divertida los caricaturistas suelen burlarse de comportamientos específicos, posturas ante un problema o declaraciones fuera de tono, como una dulce y divertida venganza al gran poder que detentan los políticos en el mundo occidental. En el mundo no occidental las caricaturas estas prohibidas y es frecuente que los caricaturistas que se burlan del gran líder sean castigados severamente y aún más grave, perseguidos. Nagib Mafus el premio nobel egipcio que describe la realidad de su país en sus bellas novelas, fue apuñalado por integristas que no están de acuerdo con sus descripciones o dicho en términos científicos, de sus modelos de la realidad egipcia.

Los científicos suelen asumir posturas graves en sus concepciones del mundo y de la realidad, y el humor entre científicos es raro, de hecho, la mayoría de los especialistas son bastante aburridos y pueden ser incluso algo anodinos, si se les saca de su campo de *expertise*.

Ortega y Gasset en su libro *La Rebelión de las Masas* afirmaba que una de las mayores tragedias de nuestra sociedad es que antes a los hombres se les podía clasificar entre sabios e ignorantes. Un sabio lo sabía todo ya que el conocimiento era limitado. El científico actual no es un sabio ya que conoce mucho de una pequeña parte del conocimiento, sin embargo, como es "Doctor" tampoco se le puede tampoco tildar de "ignorante". Esta condición de doctor de la ciencia es con frecuencia motivo de una soberbia increíble y de unos egos que creo que tenemos los investigadores como una especie de mecanismo de defensa, para compensar nuestros modestos sueldos y la desconexión que tenemos con la realidad y la gran toma de decisiones. Es verdad que hay excepciones, también he conocido a varios científicos de una cultura deslumbrante, sobre todo europeos, pero son eso exactamente: una excepción.

Un modelo, debe reunir ciertas características que son:

Su consistencia debe estar sustentada en datos empíricos, ser válido, es decir, medir lo que dice medir, capacidad de explicar observaciones pasadas, capacidad

predictiva, eficiente relación a otros modelos, ser refutable, pero tener un alto grado de confianza, ser sencillo y atractivo (Bangu, 2018).

Obligado a dar una definición podríamos decir que un modelo es...

Una representación de la realidad que consigue capturar su esencia para hacerla comprensible al ser humano.

Un modelo suele ser válido para *un conjunto de restricciones*. Estas restricciones también deben ser simples y comprensibles de lo contrario perdería su utilidad. Un modelo complicado será poco aplicable.

Existen distintos 6 tipos de modelos: Modelos físicos, modelos matemáticos, modelos numéricos, modelos gráficos, modelos conceptuales y modelos analógicos y modelos de sistemas complejos (Rivas, 2015).

Esta clasificación de modelos, aunque ha sido defendida por mí en otro de mis libros no es tan clara cuando se aplica para estudiar modelos de sistemas complejos. Podría decir, para salvar los trastes, que esta definición de seis tipos de sistemas es más bien para modelos deterministas y que al hablar de modelos complejos necesitamos otra clasificación. Es por ello que recorro a Hall & de Angelis (1985) quienes diferencian tres *tipos de modelos de sistemas*: Descriptivos, de entendimiento y de predicción.

Los modelos descriptivos también conocidos como conceptuales, heurísticos o exploratorios no buscan explicar *el porqué de las cosas*, tan solo se contentan *con describir las relaciones entre variables* mediante métodos estadísticos o sin ellos. Cuando se describe algo no se le juzga, una descripción tiene algo de impersonal. Es por ello que los modelos descriptivos resultan una primera aproximación a la comprensión de la realidad.

Los modelos de entendimiento por su parte, pretenden no solo describir sino también *entender* el funcionamiento del sistema en su conjunto y la relevancia que puede tener un nodo específico o un subsistema en particular en el desempeño global. Los modelos de entendimiento frecuentemente están asociados al análisis de la *resiliencia*²⁸ del modelo, es interesante y está asociada a la idea de

28. La resiliencia es una de los conceptos de más vanguardistas de la gestión compleja actual y ha sido recibida con entusiasmo en la gestión del capital humano. Suelen referirse tanto a sistemas como personas. El estudio de la resiliencia de un sistema analiza su capacidad de mantener su capacidad e integridad cuando es afectada todos a algu-

estudiar que tan resistente es un sistema al ataque de uno de sus subsistemas o sus partes (estudio de la robustez de sistema) y cómo afecta al conjunto la desaparición de una parte en el desempeño global.

Los modelos de predicción por su parte exigen asimilar la realidad con un detalle más preciso. En el enfoque de sistemas complejos es posible saber con alguna probabilidad manifiesta el estado futuro del sistema a partir de ciertas condiciones iniciales. En los modelos predictivos por tanto es básico definir con claridad el estado actual del sistema, los estados posibles del sistema, las escalas de medición y definir el tiempo de observación para que la predicción pueda tener efecto.

Entre más exitoso es el modelo para predecir el futuro de mayor calidad será el sistema.

Ninguno de estos modelos se aplicará al estudio de los sistemas complejos, los principios de no linealidad, emergencia, formación de patrones, caos - orden, co evolución y todos los conceptos descritos en este libro descolocan, el andamiaje epistemológico y las tradiciones en los sistemas complejos.

Modelación en Sistemas Complejos: La modelación de sistemas complejos parte de una idea central que es la imposibilidad de dividir el sistema en partes o en subsistemas aplicando la lógica del reduccionismo empirista. Un sistema complejo tiene componentes relacionados entre si que dependen uno del otro, no es posible quitar algunos sin la afectación general del sistema. Ciertamente es que los sistemas complejos presentan cierto grado de *robustez* en su funcionamiento que resiste hasta cierto grado de perturbaciones - umbrales de resistencia- que son frecuentes en los sistemas reales y que pueden surgir de una manera inesperada (emergente), y que exhiben resiliencia a su orden interno.

Es por ello que su estudio que en los sistemas complejos el estudio de la relaciones de sus componentes y sus comportamiento emergentes son centrales es su epistemología.

La dialéctica de las diferencias e integraciones constituyen por lo tanto la base del conocimiento.

nos de sus miembros. Lo mismo ocurre en el caso de una persona que sufre un hecho catastrófico como la pérdida de un ser querido o bien es despedido de sus trabajos.

La investigación y su diseño metodológico por lo tanto emerge de modelizaciones sucesivas hechas con facilidad en computadoras y con software cada vez más potentes.

El modelo por lo tanto es la variable central ya que se hacen diferentes modelos del funcionamiento del sistema en un proceso de constructivismo que es una forma de realismo epistemológico.

A diferencia de otros modelos deterministas o cualitativos tanto los objetos como sus relaciones inferidas crean patrones de comportamiento colectivo que son el producto de los modelos construidos con sistemas complejos (García, 2006).

TRADICIONES EPISTEMOLÓGICAS EN SISTEMAS COMPLEJOS

Existen dos grandes tradiciones en la modelación de los sistemas complejos: la Empirista cuántica encabezada por Glen Mann, y la escuela del pensamiento complejo representada por William C. Wimsatt y Edgar Morin.

MURRAY GELL-MANN Y EL EMPIRISMO CUÁNTICO

Murray Gell-Mann fue un físico duro, uno de los físicos más importantes de la última mitad del siglo XX y uno de los estudiosos más prominentes en Sistemas Complejos ya que fundó el mítico Santa Fe Institute, en 1984. Este centro integró por primera vez temas como la mecánica cuántica, el estudio del sistema inmunológico, la evolución de los lenguajes humanos y la economía concibiéndolos como sistemas complejos adaptativos. Gell-Mann fue otro niño genio, como Alan Turing, Karl Popper y Norbert Wiener. Ingresó a los quince años a la Universidad de Yale, terminó los diecinueve su carrera. Se doctoró en el MIT con una tesis sobre partículas subatómicas tema en el que profundaría y haría sus grandes aportaciones a lo largo de su vida. Una de sus primeros hallazgos fue descubrir una nueva propiedad cuántica, a la cual llamo *extrañeza*, para explicar las raras pautas de desintegración de partículas subatómicas llamadas mesones.

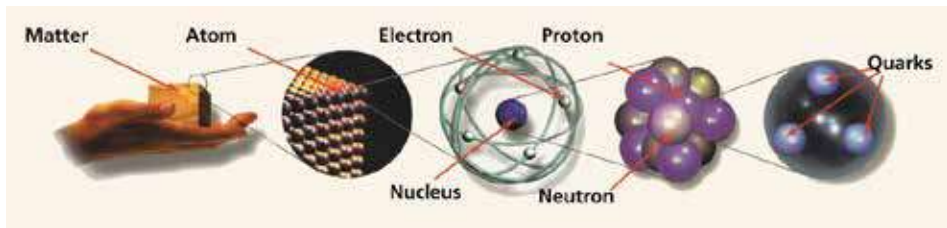
A partir de ciertas propiedades eléctricas clasificó los mesones. Con sus propuestas se descubrieron más de 100 partículas al interior de un núcleo atómico (Biografías y vidas, 2019). Gell-Mann descubrió también una partícula aún más pequeña que los protones a la que llamo *Quarks* inspirado en una novela de James

Joyce *Finnegans Wake*. En su novela Joyce, menciona que *quark* es el grito de las gaviotas, una onomatopeya, como cuac -cuác en los patos.

A su modelo del Quarks, Gell- Man le llamo poéticamente, *la octava forma*, inspirado en el Óctuple Sendero del Budismo (Johnson G. , 2019). Por sus aportaciones recibió el premio nobel en 1969 al encontrar nada menos que los fundamentos de la construcción de la materia. Puesto que toda su obra está basada en la medición y la comprobación de partículas que tiene extrañezas y conductas compleja que solo pueden ser advertidas con aceleradores de partículas, la cual es una tecnología costosa solo disponible en países desarrollados.

La figura 3 ilustra la representación de un Quarks.

Figura 3. La octava forma, el Quarks



Fuente: (Seminario de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, 2016)

En su libro *The Quark and the Jaguar* Glen- Mann afirmó ... “*Los quarks son los ladrillos básicos que componen toda materia*”, recuerda Gell-Mann. Incluso el jaguar “*es un manojo de quarks y electrones. ¡Pero qué manojo! Exhibe una enorme complejidad, resultado de miles de millones de años de evolución biológica...*” (Gell-Mann, 1995). En este libro propone una relación entre los sistemas simples y complejos, que van desde los Quarks hasta el medio ambiente, la economía y la política, donde todo está relacionado, de allí la importancia de ser trans disciplinario para comprender la complejidad.

Gell- Mann era una de esas excepciones de los hombres de ciencia que además de genio era muy culto. El título de su libro *El Quark y el Jaguar* está tomado de una línea de un poema de Arthur Sze: “*El mundo del quark tiene todo que ver con un jaguar dando vueltas en la noche*” (Web Stories, 2019).

Por su formación y sus sensacionales descubrimientos se le considera un promotor del reduccionismo en sistemas complejos. Algunas de sus frases memorables sobre los sistemas complejos son las siguientes:

..“Un sistema complejo no es ni demasiado ordenado ni demasiado desordenado, ...” (...) Para que un sistema complejo adaptativo funcione se requieren condiciones intermedias entre el orden y el desorden (...)

..“El desorden es más probable porque hay infinidad de formas de desorden”.

... La vida es un orden local (espacial y temporal) dentro del proceso de aumento de entropía, igual que lo son la formación de galaxias y planetas. Sin embargo, la vida se extingue porque la energía entra y sale continuamente.

Los organismos co evolucionan y, como las condiciones cambian continuamente (clima), puede no haber un verdadero equilibrio alcanzable. (...). (Gell-Mann, 1995).

Esta frase quizás revela como ninguna otra su concepción epistemológica que nos permite clasificarlo como Empirista ya que concibe la existencia de “leyes fundamentales”. ...(...) *El azar entra necesariamente en escena porque las leyes fundamentales son mecano cuánticas, y la mecánica cuántica proporciona probabilidades para las historias alternativas no detalladas del universo.*(...) (Gell-Mann, 1995).

EL PENSAMIENTO COMPLEJO DE WIMSATT Y MORIN

William C. Wimsatt es otro caso de un Ingeniero Filósofo, oficialmente su línea de investigación es Filosofía y Biología Evolutiva. Aunque su obra es muy amplia, no resulta fácil de seguirlo ni de leerlo. Si bien su producción de artículos científicos es muy estimable en el libro Wimsatt & Wimsatt, *Re-engineering philosophy for limited beings: Piecewise approximations to reality*, 2007. Su pensamiento complejo se expresa en dos ideas centrales la limitación de los seres humanos y la complejidad del mundo la cual para ser percibida se requiere abordarla desde perspectiva el pensamiento complejo. Dentro de sus contribuciones más destacadas esta la aportación de cuatro conceptos nuevos: Los Niveles de Complejidad, y la Robustez, los Tickets causales y las Perspectivas.

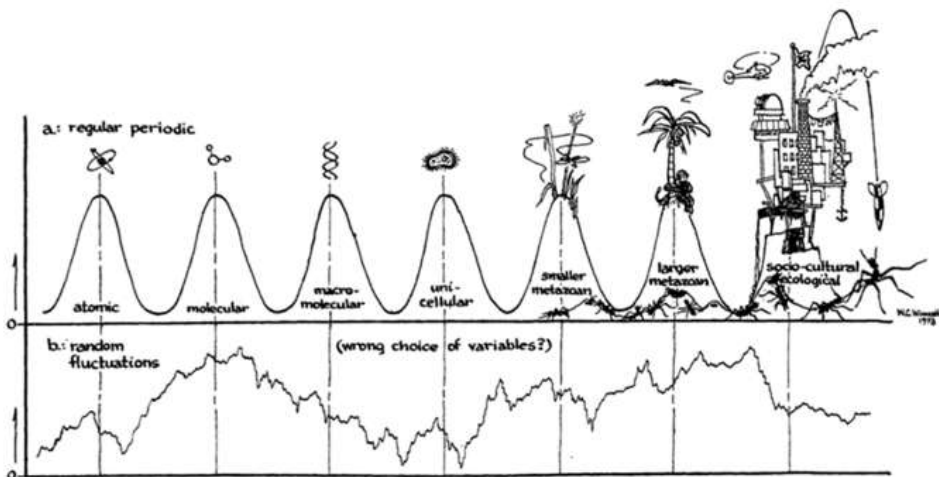
Niveles de Complejidad

Wimsatt identificó 7 diferentes niveles de complejidad en el mundo, de acuerdo a su percepción tiene dos niveles de complejidad. El mundo de lo regular y el orden con distintos niveles de complejidad creciente que van desde lo atómico a

los sistemas culturales y sociológicos, y el mundo de las fluctuaciones aleatorias sometidas a la dinámica orden caos. Lo cual se ilustra en la Figura 4.

El primer nivel está representado por la organización. *El tamaño es un indicador robusto de las interacciones causales pero no es suficiente. Los niveles de organización pueden considerarse como máximos locales de regularidad y previsibilidad en el espacio de fases de organización de la materia. Los niveles de complejidad deberían actuar como atractores para otros sistemas que cambian bajo presión de selección. Desde la perspectiva evolutiva, los niveles definen nichos para las entidades que los componen, y son nichos co-evolutivos que el aumento de los niveles. La autonomía dinámica, y los cambios a nivel micro no hacen una diferencia causal.* (Wimsatt & Wimsatt, 2007, pág. 196).

Figura 4. Niveles de Complejidad



Fuente: (Wimsatt, 1994, pág. 32)

Robustez

La Robustez es una cualidad asociada a salud y la fortaleza física, cuando se aplica a un sistema, se refiere a su capacidad de soportar perturbaciones que pongan en peligro su integridad y operación. Aunque el problema de la robustez había sido ya tratado por otros científicos como Levins, quién postula que la robustez teórica de un teorema se da cuando distintos supuestos, conducen a

resultados similares. Por tanto, la verdad aparece en la Intersección de mentiras independientes (Levins, 1966).

La robustez es una cualidad del sistema que es universal así tenemos que hay Robustez biológica referida casi siempre a la evolución, Robustez ambiental, Robustez morfológica, Robustez de modelo de decisiones hace a una decisión inmune a la incertidumbre.

Robustez de informática en economía en estructuras y en sistemas complejos, fue la última propuesta por Wimsatt quien afirma que un Sistema es robusto si es accesible, detectable, medible, derivable, definible, producible, en una variedad de formas independientes.

La robustez en sistemas complejos es la capacidad de tolerar perturbaciones que puedan afectar el cuerpo funcional del sistema, y existen dos formas de robustez en tamaño pequeño y en tamaño grande. La robustez en el tamaño pequeño se refiere a situaciones en las que las perturbaciones son de pequeña magnitud, lo que considera que la magnitud “pequeña” depende del problema específico. Por el contrario, en gran magnitud no se pueden hacer suposiciones acerca de las perturbaciones, que pueden ser pequeñas o grandes. Se ha discutido que la robustez tiene dos dimensiones: resistencia y evitación.

..“Todas las variantes y usos de la robustez tienen un tema común en la distinción de lo real de lo ilusorio; lo confiable de lo poco confiable; lo objetivo de lo subjetivo; el objeto de enfoque desde los artefactos de la perspectiva; y, en general, lo que se considera ontológica y epistemológicamente digno de confianza y valioso de lo que es poco confiable, no generalizable, sin valor y fugaz ...” (Wimsatt, 1981, 128)

Edgar Morin y la Complejidad

Aunque el pensamiento complejo de Morin es uno de los temas más citados y referidos entre los científicos sociales de America Latina mi impresión a partir de los análisis apologistas y acrílicos que de su obra así como de las muchas conferencias haciendo eco de sus ideas que tuve que padecer, me habían puesto a la defensiva de un tratamiento y abordaje que me había parecido una caricatura crítica del “reduccionismo parcelario” lo cual me había orillado a desestimar sus aportaciones. Una relectura de sus libros que me sugirió uno de los lectores arbitro de este libro que había planeado publicar en inglés y que desistí de ello dada la ausencia que percibo de un libro parecido a este en español, me ha hecho valorar con más cuidado sus aportaciones.

La obra de Morin, es la de un filósofo de largo recorrido y por lo tanto muy extensa. Los trabajos sobre sistemas complejos son: El Rumor de Orleans, (1969) Introducción al pensamiento complejo (1990), La inteligencia de la complejidad (1999), y el libro más en particular su libro la Epistemología de la Complejidad. (Morin, 2004)

El libro del Rumor de Orleans en realidad no fue un estudio de sistemas complejos, sino que se trató de un contrato a Morin para estudiar el caso del famoso rumor de Orleans: según el cual, en 1969, las mujeres desaparecían de los probadores de las tiendas de ropa regentadas por comerciantes de confesión judía. Este rumor había desplomado las ventas en las tiendas de judíos en Francia, por ello, la Asociación de Comerciantes Judíos contrato a Morin y a su equipo para estudiar su veracidad y pudo comprobar que el origen de ese falso rumor se había creado en las aulas femeninas de colegios religiosos. “Esa población adolescente, aislada de las realidades sociales, viviendo en un ambiente cerrado, era propicia a la producción de fantasmas sexuales”. (Morin & Bergadá, 1974). Aunque en esa época no fue conceptualizado como un problema complejo, el rumor es un fenómeno que se estudia en sistemas complejos ya que es no lineal y tiene estructuras disipativas. En el estudio realizado por (Borge-Holthoefer & Moreno, 2012) analizó los modelos de difusión de rumores, y concluyó que en los rumores es irrelevante quién inicia el proceso de difusión, dado que éste tendrá la misma probabilidad de éxito si se inicia por cualquier otro agente. Morin llegó a las mismas conclusiones casi 40 años antes. En la actualidad el estudio de los rumores tiene un campo de mucho interés particularmente en países emergentes como México, India, Colombia los rumores suelen tener consecuencias fatales. En México aumentaron los linchamientos por falsos rumores en 190 % en 2018 hasta los 174 casos, con 271 víctimas. (Agencia EFE, 2019).

Pensamiento Complejo

A Morin se le atribuyen la creación de algunos conceptos relevantes para los sistemas complejos los cuales fueron recogidos en su libro Introducción al Pensamiento Complejo (1990). En los que muchos califican - de forma un poco exagerada - como su epistemología de la complejidad. Morin considera que existe una urgencia del pensamiento complejo para articular los dominios disciplinares quebrados por el pensamiento simplificador que los aísla, separa, y oculta.

Según Morin, el mundo es un todo indisoluble donde el espíritu individual de las personas posee conocimientos ambiguos, desordenados que deben ser abor-

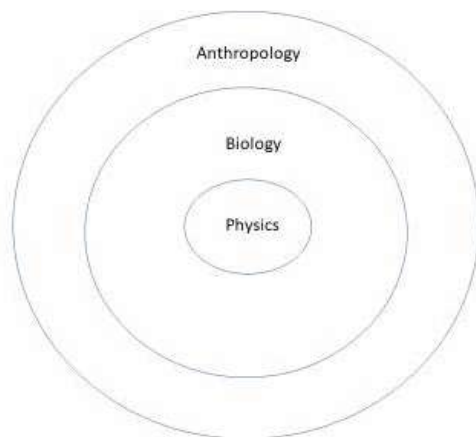
dadas de una manera multidimensional. Se opone ferozmente al aislamiento de los objetos del conocimiento, reclama un tratamiento global al estudio de los fenómenos naturales y sociales.

--“ *el pensamiento complejo está animado por una tensión permanente entre la aspiración a un saber no parcelado, no dividido, no reduccionista, y el reconocimiento de lo inacabado e incompleto de todo conocimiento.*”.. (Morin, 1990, pág. 8)

Según él vivimos en el imperio de los principios de disyunción, reducción y abstracción, cuyo conjunto constituye lo que llamo el “paradigma de simplificación”. Esta disyunción ha separado a la Física, la Biología, de la ciencia del hombre que según él es la Antropología.

La grafica 5 que la única que hay en todo su libro, pretende ilustrar la parcialidad del conocimiento, llama la atención que haya elegido la antropología entre todas las ciencias sociales, quizás en fidelidad a su profesión y a su discurso hubiera quedado mejor ilustrar a la filosofía. Sin embargo, para él la antropología es la ciencia del hombre.

Figura 5. El conocimiento Parcelario de la Ciencia Moderna según Morin



Fuente: Morin 1990

Morin manifiesta la urgencia de abandonar este enfoque reduccionista y buscar una teoría *una teoría fundamental* que escape al campo de las disciplinas, y las atraviese pero no como lo han hecho, ...” con su propia ceguera y arrogancia, el marxismo, el freudismo, el estructuralismo,,” (...) disputas epistemológicas entre Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, etc., lo pasan por alto. Pero esa ceguera es parte de nuestra barbarie. (Morin, 1990, pág. 7). Por ello propone la transdisciplina.

Morin propone

1. Reconocer un principio de “incompletud” y de incertidumbre en el seno de todo conocimiento.
2. Aspirar a un saber no parcelado no dividido , no reduccionista
3. Evitar un conocimiento orientado a la acción, unidimensional que resulta mutilante
4. Buscar un nuevo conocimiento que una lo separado y que articule lo que está unido
5. Conseguir la unidad en lo diverso y lo múltiple
6. Conseguir que lo múltiple y lo diverso sea lo uno

Si bien el discurso de Morin es un discurso poderoso y poético que nos lleva a la búsqueda de la unidad que ha obsesionado a tantos científicos incluido Einstein que se afano toda su vida en su Teoría del campo unificado, que como ha mencionado Bachelard, esta obsesión por la unidad ha sido es uno de los grandes obstáculos del conocimiento. (Bachelard, 1989).

La Transdisciplina

Este es uno de los conceptos Morin fundamenta buena parte de su epistemología. Esta palabra proviene el alemán *Transdisziplinarität* y en su idea seminal propone integración formas de investigación y conocimiento en la resolución de problemas.

Se considera transdisciplina cuando se cruzan los límites *de al menos tres disciplinas*. Cuando ocurre se da el caso que una técnica diseñada para una disciplina se usa extensivamente en otros campos tal es el caso de la etnografía, usada en Antropología, Administración, Psicología, la Música en incluso ahora en la computación con los algoritmos culturales.

Según Morin la transdisciplina ..” afecta a la vez a la Ontología, a la Metodología, a la Epistemología, a la Lógica, y en consecuencia, a la práctica, a la sociedad, a la política. La Ontología de Occidente estaba fundada sobre entidades cerradas, como ser la sustancia, la identidad, la causalidad (linear), el sujeto, el objeto.” (...) La investigación disciplinaria y transdisciplinaria no es antagónica sino complementaria. (Morin, 1990, pág. 23)

Además de la transdisciplina Morin propone - en una nueva versión 2.0 – de su modelo de complejidad ya descrito que era de 4 principios. .

El primero principio es *El Dialógico*. Que relaciona ideas o principios de dos lógicas antagónicas se suele replantar su relación en forma de bucle. Al integrarlas se obtiene una *visión policular*.

El segundo principio es el de *Recursividad Organizacional*. Los objetos son productos y causas del mismo proceso que las producen. Se les representa por un bucle retroactivo.

El tercer principio es el principio *Hologramático*. El todo está en las partes y está en el todo. Mi ADN esta en cada una de mis células y en todo mi cuerpo.

Estos primeros tres principios están es su libro. (Morin, 1990, págs. 67-68). En obras posteriores desarrollo otros 5 principios más que son:

El cuarto principio de la *Emergencia*. .."las cualidades o propiedades de un sistema que presentan novedad en comparación con componentes considerados aisladamente o dispuestos de forma diferente en otro tipo de sistema..." (Morin, 1999)

Quinto principio de la *Eco Autonomía*. Se debe aislar el objeto estudiado, por su relación eco-organizadora con su entorno.

El sexto principio *De lo Borroso*. Se opone al principio de bivalencia, reivindica la ambigüedad en la respuesta.

La figura 6 resume la epistemología 2.0 de Morin.

Figura 6. Pensamiento complejo de Morin 2.0



Fuente : Elaboración propia

Aunque muchos de estos conceptos no son de su creación como ya se ha mostrado a lo largo de este libro, uno de los méritos y de las razones de la popularidad de Morin es que ha explicado el pensamiento de una manera bella y poética, y a diferencia de Wimsatt, muy comprensible incluso para los no científicos.

Según Morin, *“La epistemología jugaba siempre el rol verificador del aduanero o el rol prohibidos del gendarme...(.). “La imaginación, la iluminación, la creación, sin las cuales el progreso de la ciencia no hubiera sido posible, no entraban en las ciencias más que ocasionalmente: el paradigma de simplicidad es un paradigma que pone orden en el universo, y persigue al desorden. El orden se reduce a una ley, a un principio. La simplicidad ve a lo uno y ve a lo múltiple, pero no puede ver que lo Uno puede, al mismo tiempo, ser Múltiple. El principio de simplicidad o bien separa lo que está ligado (disyunción), o bien unifica lo que es diverso (reducción). la realidad biológica y la realidad cultural, el paradigma de simplificación nos obliga ya sea a desunirlas, ya sea a reducir la más compleja a la menos compleja” ...((,,)) la complejidad por el contrario nos invita a traspasar a integrar a asumir, a crear un teoría del todo unificado por fuerzas múltiples que solo es su polifonía permite entender ya no simples relaciones de causa efecto sino patrones de comportamiento colectivo.*

Uno de los aspectos más afortunados del libro es la aclaración en los capítulos finales que su libro que entra en conflicto con el bulo de sus pregoneros es que *..“El pensamiento complejo no rechaza, de ninguna manera, a la claridad, el orden, el determinismo. Pero los sabe insuficientes, sabe que no podemos programar el descubrimiento, el conocimiento, ni la acción. ..”*

Una idea que dese resaltar sobre la epistemología en la obra de Morin es la importancia de la estrategia como guía de la complejidad.

Según Morin (1990) . *“La complejidad necesita una estrategia, no de programas.”* Una de las razones del colapso de la Unión Soviética que parecía con sus grandes logros político- militares - espaciales, un proyecto formidable, que había conseguido agrupar a 16 repúblicas en una idea de macro nación multi-étnica, consistió precisamente en su rigidez y en su falta de flexibilidad y adaptación. El proyecto careció de una estrategia y se privilegió el imperio del programa en lugar de una estrategia, lo cual obligó avanzar a su sociedad en una sola dirección sin escuchar las voces que pedían caminos múltiples. Soluciones no totalitarias donde la complejidad sugería sistemas auto organizados.

..“La Unión Soviética funcionó gracias a esta respuesta de la anarquía espontánea de cada uno con respecto a las órdenes anónimas desde lo alto y, por cierto, hizo

falta que hubiera elementos de coerción para que eso funcionara. (...)El desorden constituye la respuesta inevitable, necesaria e incluso, a menudo, fecunda, al carácter esclerotizado, esquemático, abstracto y simplificador del orden..” (Morin, 1990)

Me asombra gratamente que en las partes finales del libro exista un capítulo a reflexiones sobre la aplicación de la complejidad en las organizaciones y la empresa, que constituye el motor que mueve al mundo. En esta parte Morin articule sus poéticas ideas con un sentido práctico. En particular destaco su idea que *..” el pensamiento complejo no resuelve, en sí mismo, los problemas, pero constituye una ayuda para la estrategia que puede resolverlos. Él nos dice: «Ayúdate, el pensamiento complejo te ayudara. “ (Morin, 1990, pág. 75)*

Morin propone tres causalidades en el mundo empresarial. Una primera causalidad lineal ya que la materia prima, aplicando tal proceso de transformación, se produce tal objeto de consumo, es decir hay una relación causa efecto muy claro. Una segunda casualidad que él llama circular retroactiva, ya que sin supervisión, las empresas pueden hacer grandes obras pero también pueden hacer barbaridades, y por ello deben ser reguladas por el estado que garantice que su acción compleja benéfica a la sociedad. Existe finalmente una *causalidad recursiva*, ya que la empresa genera productos o servicios mediante procesos y el producto es productor de aquello que lo produce...”*La Sociedad, por ejemplo, es producida por las interacciones entre los individuos que la constituyen. La sociedad misma, como un todo organizado y organizador, retro actúa para producir a los individuos mediante la educación, el lenguaje, la escuela. Así es que los individuos, en sus interacciones, producen a la Sociedad, la cual produce a los individuos que la producen. Eso sucede en un circuito espiral a través de la evolución histórica. ..” (Morin, 1990)*

La idea de complejidad es tan seductora en la obra de Morin porque supone imperfección e incluye la incertidumbre y el reconocimiento de lo irreductible, proponiendo relaciones complementarias y antagonistas que demandan solidaridades espontáneamente para subsistir y operar evolucionando. Quizás sea demasiado afirmar que Morin crea una epistemología de la complejidad porque muchos de sus conceptos son prestados y además carecen de la prueba empírica que reclamaba (Popper, 1934) para aprobar sus aportaciones.

Sin embargo, algo que debemos reconocer en Morin es que nunca se vea sí mismo como un científico sino como un filósofo. Su obra provocadora y su aspiración a la totalidad y a su idea de la “completud,” dinamitó en muchos sentidos los cánones formalista de la epistemología cuyas discusiones eruditas se volvieron por momentos inteligibles. Las discusiones entre Lakatos versus Popper entre otras.

..“porque yo navego entre ciencia y no ciencia. ¿Cuáles son mis fundamentos? La ausencia de fundamentos, es decir, la conciencia de la destrucción de los fundamentos de la certidumbre. Esta destrucción de los fundamentos, propia de nuestro siglo, ha llegado al conocimiento científico mismo historiadores de la ciencia, los epistemólogos, y los vulgarizadores. Se me ha acusado de simple, pero, la simplificación es necesaria, pero debe ser relativizada. Es decir, que yo acepto la reducción consciente de que es reducción, y no la reducción arrogante (...) Como decía Pascal: «Tengo por imposible conocer las partes en tanto partes sin conocer al todo, pero tengo por no menos imposible la posibilidad de conocer al todo sin conocer singularmente a las partes.» (...) El orden, el desorden y la organización son interdependientes, y ninguno es prioritario. (...) Creo que la verdadera racionalidad es profundamente tolerante con los misterios---”. (Morin, 1990, págs. 92-94)

En la ciencia de la complejidad sin embargo, esta definición se queda algo corta ya que en los sistemas complejos existen tres aspectos que deben ser considerados según (Lloyds, 2011): Descripción de la información, complejidad computacional y complejidad de sistema

Dentro de la *complejidad de la información* cabe mencionar: a la información, la entropía, la complejidad algorítmica, la longitud de descripción mínima, la dimensión, la dimensión fractal además de otras formas de complejidad.²⁹

Dentro de la *complejidad computacional* cabe mencionar: el tiempo, el espacio, la complejidad de la información, la profundidad lógica, la profundidad termodinámica y la criptografía.

Dentro de la *complejidad del sistema* cabe citar a: la complejidad estocástica, la complejidad efectiva. La complejidad verdadera, la entropía, la información condicional, la información condicional algorítmica, la complejidad jerárquica. La información mutua algorítmica, la correlación entre componentes y la información almacenada.

29. (Lloyds, 2011) menciona ...” además la complejidad de información de Fisher, la entropía de Reny, la complejidad del Lempel- Zeiv, la información de Chernoff, la longitud del código de Huffman- Shannon – Fano. La corrección de errores de Hamming...” No lo he puesto en el texto central porque todo esto les sonará a chino (como a mí). Sin embargo, cabe mencionar que el trabajo de Lloyd abarca casi todas las ciencias por lo cual el lector no debe desanimarse a seguir el hilo de la modelación de sistemas complejos.

Con estas categorías de análisis Lloyd 2001 pretende responder tres preguntas básicas: ¿Que tan difícil es describir un sistema?, ¿Qué tan difícil es crear un sistema?, y ¿Cuál es el grado de organización de un sistema?

Por fortuna en la modelación de sistemas complejos no es necesario describir todos los componentes propuestos por Lloyd cuya obra debe ser considerada un trabajo de síntesis de gran valor teórico.

Luego de decir que es un sistema complejo, como se clasifican los sistemas, cuáles son sus diferencias y qué lugar ocupan los sistemas complejos en esta jerarquía debemos de resaltar una idea que ha quedado perdida entre el texto.

Lo que ha detonado la comprensión de los sistemas complejos es la eclosión de las computadoras modernas y su diseminación prácticamente universal, aunado a lo anterior expertos de otros campos han penetrado en el estudio de las redes las cuales se habían mantenido atoradas en el tiempo y han observado distintas propiedades y realizado las demostraciones matemáticas que prueban estas propiedades. Así mismo, mentes maravillosas han desarrollado distintos programas de cómputo que permiten visualizar y simular el comportamiento de los sistemas complejos. En el estudio actual de los sistemas complejos el conocimiento de los modelos de simulación y su lógica es un requisito indispensable.

EL PROBLEMA METODOLÓGICO DE COMPRESIÓN DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS

Una de las mayores dificultades para el estudio y la comprensión de los sistemas complejos es la enorme literatura que existe al respecto y la ausencia de un marco metodológico que permita comprender sus enfoques y sus grandes diferencias.

Puesto que las propiedades emergentes que resultan de las interacciones de los elementos de un sistema son el elemento distintivo de los sistemas complejos estas propiedades no pueden ser estudiadas mediante métodos o análisis analíticos, y requieren obligadamente el uso de simuladores. De otra forma el elemento o los elementos emergentes no podrán ser probados ya que por definición un sistema complejo emerge de las interacciones de sus elementos originarios.

Aquí deseo hacer una confesión pública que, aunque es algo penosa creo que puede ser de utilidad para los que se inician en el estudio de los sistemas complejos.

Como ya he mencionado en capítulos previos cuando descubrí la existencia de los sistemas caóticos me sentí inmediatamente atraído por la idea de estudiar *el*

orden oculto que presentan los sistemas caóticos. Este orden que solo han permitido visualizar los nuevos softwares son los *atractores extraños* que tanto me fascinan.

Puesto que el caos es universal y está presente en distintos sistemas a distintas escalas. Desde el humo que sale de un cigarro, la tinta que rompe la armonía de un vaso lleno agua, la leche que destruye el negro del café que bebemos en la mañana, el huracán que azota despiadado una costa en América Central, las cadenas de contagios de un virus nuevo y letal. La modelación de los sistemas en los límites del caos es una obligación el cual no tiene al momento de escribir este libro un modelo general que es el que modestamente propongo en este capítulo inspirado en las propuestas de (Grimm & Railsback, 2005) y (Huerta, 2014).

Desde entonces seducido también por la transdisciplinariedad del estudio de los sistemas complejos creí ser un estudioso de la complejidad por mi confusa formación profesional y mi desordenada obra científica.

Sin embargo, con paso de los años he descubierto que, aunque muchos de mis trabajos los hice *desde la perspectiva de la complejidad*, en realidad para estudiar los sistemas complejos es necesario *dominar los métodos de simulación*. Ningún análisis por detallado y multidisciplinario que sea es capaz de describir la emergencia de un sistema ya que estas conductas emergentes suelen pasar desapercibidas casi siempre y sólo la simulación es capaz de mostrar las interacciones conjunta de una gran cantidad de nodos y redes actuando en conjunto.

Es por ello que decidí escribir este libro como una especie de penitencia ya que falsamente he creído todos estos años que soy un *complejologo* cuando en realidad he sido siempre un aspirante desorientado.

Un problema adicional al menos para mí, es que a mis años, el mundo de la computación y de la alta programación parecía un tema tabú. Aunque las nuevas tecnologías nos obligan a usar plataformas de información todos los días, la programación parece cosa de expertos algo locos.

Dispuesto a resarcir mi ignorancia asistí al New England Complex Systems Institute asociado al MIT en Boston donde comprobé con horror que no dominaba ni siquiera Excel que es una de las herramientas más sencillas para “ver” el comportamiento de los sistemas emergentes.

Cuando el curso entró a la programación de Python me sentí profundamente desanimado ya que mis conocimientos de programación se remontan a hace 30 años cuando en la universidad me enseñaron a programar en Fortran ¡Recuerdo

que en esa época solía llevar mis tarjetas perforadas para hacer correr mis programas los cuales por cierto raramente corrían adecuadamente!

Así que, a ver la complejidad que supone la programación mi primer impulso fue el de salir corriendo y pasarme a otro campo del conocimiento, más amable.

Desde que incursione en el afán de estudiar simulación. He recibido ánimos diversos. Desde un joven recién egresado de la carrera de sistemas que me ha dicho ..” *los programas son muy similares entre si y si uno entiende la lógica luego es muy fácil programar en todos los demás...*”

Un colega físico (de mi edad) que me ha dicho. ... “*Deja de preocuparte por eso. Consíguete un becario*”.

El escribir este libro es un término medio entre ambas posturas. No me he de metido a estudiar programación y no me he conseguido ningún becario. He tratado de entender cómo funciona esto de la simulación y a continuación explicaré lo que he entendido al respecto.

MARCO METODOLÓGICO PARA LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS COMPLEJOS

Varios investigadores han intentado comparar los diferentes enfoques en la simulación de sistemas complejos. Destacan (Helal & Rabelo, 2004), (Brito & Botter, 2011), y (Huerta, 2014). Sin embargo, estos autores no especifican la manera en que los modelos de simulación deben usarse ni su integración epistemológica.

Una dificultad adicional para comprender integración entre el episteme, los métodos y los modelos de simulación en sistemas complejos está en el hecho de que es necesario relacionar al sistema bajo estudio con una escala y con el tiempo. Con la escala porque es necesario reducir la realidad del sistema a una escala comprensible y con el tiempo porque es necesario estudiar al sistema de manera continua o por espacios concretos de tiempo. Dicho de otra manera, los sistemas complejos tal como lo anhelo Einstein en los últimos años de su vida, es un marco metodológico que permite explicar tanto macro sistemas como micro sistemas.

En relación al tiempo los sistemas también pueden ser analizados de manera continua, es decir en cohortes de tiempo que *son como flujos*, o bien, en espacios específicos de tiempo que pueden ser un día, un mes, un año, un siglo (de manera discreta).

Este modelo permite analizar la realidad que se nos presenta como una nube inescrutable y gris.

Existen dos tipos de enfoques: *Macro* que pretende estudiar sistemas gigantes de una extraordinaria complejidad y sistemas *Micro* donde existen elementos claramente identificados (Agentes). Según el modelo LART, si el problema es de tipo Macro se trata de un problema tipo A. Dentro de los problemas de tipo A, hay a su vez problemas de tipo A₁ que es cuando el tiempo corre como si fuera una película (análisis continuo) y sí la realidad se analiza en periodos específicos de tiempo, entonces es un problema A₂, los cuales se estudian como si fueran fotos que pueden ser de un día, una semana, un mes, un año, etc. (análisis discreto).

En los problemas Macro tanto continuos como discretos, los modelos de simulación analizan la realidad, los comportamientos colectivos y las interacciones del sistema real, desnudando sus intercambios y *simulando sus efectos colectivos*.

En los problemas Micro que pueden estudiar tanto una organización en concreto como un sistema aislado, los modelos de simulación de llaman *basados en agentes* y suelen *sintetizar* las interacciones de los elementos del sistema real para simular y comprender su conducta colectiva. Un ejemplo típico de estos sistemas, es el comportamiento de un nido de hormigas o de termitas o el comportamiento de una epidemia en una población en concreto.

El pensamiento complejo integra con su racionalismo tanto los enfoques macro y micro tanto en consideración de tiempo discreto y continuo usando algunas herramientas como la lógica difusa y los enfoques sociales de Luhmann. Presenta la Hermenéutica como una reivindicación cualitativa y no pretende la unidad que como decía Bachelard en uno de los obstáculos del acceso al conocimiento, Mi modelo no aspira a una nueva epistemología sino a algo mas modesto que es una especie de charola metodológica que intenta integrar sin desestimar el empirismo de las técnicas y modelos complejos.

La figura 7 muestra el modelo epistemológico LART de sistemas complejos que integra un marco epistemología que integra en su concepción la teoría del todo.

Figura 7. Marco Metodológico LART de Modelación en Sistemas Complejos



Fuente: elaboración propia

La ventaja que proporciona la simulación bajo el modelo LART es que es posible verlo prácticamente todo si el sistema se analiza claramente, mediante descomposición o síntesis y puede ser evaluado como eventos continuos como discretos, o bien, puede ser estudiado bajo la episteme del pensamiento complejo.

Este modelo es congruente con otras metodologías de investigadores que han teorizado sobre la modelación en sistemas complejos que proponen la descomposición de variables altamente agregadas las cuales se caracterizan por ecuaciones generales que las explican. (Grimm & Railsback, 2005), (Huerta, 2014).

En la modelación por síntesis las variables emergen del entorno en entidades que luego se identifican más claramente al identificar sus interacciones.

Modelos de Simulación Macro de Tipo Continuo

Estos sistemas se estudian mediante dinámica de sistemas. En dinámica de sistemas se pretende no solo describir las propiedades del sistema sino su evolución en el tiempo. Esto supone definir con claridad su situación actual o inicial y sus estados de evolución casi siempre mediante ecuaciones diferenciales.

Cuando se da el caso que la dinámica no conduce a ninguna región concreta y las variables no convergen en ningún estado a esta región se le llama *repulsor* y a las trayectorias que forma las variables bajo estudio se les llama cuenca de repul-

sión. Esto es una excepción que puede ocurrir, sin embargo, no es deseable ya que como se recordara los sistemas complejos actúan de manera conjunta mediante efectos emergentes en un espacio común al que suele llamarse atractor. Dentro de las metodologías típicas de este tipo de sistemas destacan: La vida artificial, la robótica, las redes neuronales, la nano-ciencia, el método scat de ciencias sociales, y la inteligencia artificial.

Modelos de Simulación Macro de Tipo Discreto

Estos sistemas estudian los sistemas y descomponiendo la realidad en variables. Son múltiples los enfoques y autores que han propuesto metodologías. Puesto que este es un libro de divulgación explicare solo la metodología que a mi juicio es la más clara que es el modelo cíclico propuesto por (Robinson, 2004) y (Robinson, 2005).

Este modelo propone 5 fases que son: Identificación del problema, modelo conceptual, modelo computacional, entendimiento del sistema, validación y verificación del modelo.

Esta última fase es particularmente relevante ya que por verificación se entiende que el modelo esté libre de errores y corra correctamente en el simulador y por validación se entiende que el modelo sea capaz de explicar la realidad de la que abrevia y que intenta explicar. Dentro de las metodologías típicas están la modelación basada en agentes, la modelación multiagente, el modelo computacional, los algoritmos genéticos, el autómatas celular.

Eventos Discretos o Continuos Estudiados en Pensamiento Complejo

Se usan para análisis sistemas sociales donde la evidencia empírica es difícil de describir y evaluar. Para ello se usan las siguientes categorías de análisis: Robustez, Recursividad, No linealidad, Emergencia, Autopoiesis, principio Holo gramático, Límites y Rutas del Caos Identificación de Patrones.

En suma y a manera de conclusión: El conocimiento es un producto social y está asociado al contexto en el que se desarrolla. La ciencia no es un producto occidental como pretende el eurocentrismo dominante ya que existen al menos 8 grandes civilizaciones: La Sumeria, la Egipcia Griega, la Romana. La China, la India, la Nórdica, La Inca y la Maya.

En el caso del China, por solo poner un ejemplo el Taoísmo se desarrolló entre el siglo VII y el III A. C teniendo a Lao Tse (IV como su principal representante mucho antes que surgiera la Filosofía Griega de surgió en allí toda la base del conocimiento occidental. (Gaarder , Hellern, & Notaker, 2009).

La ciencia es una institución social por ello como ha dicho Putman ¿cuál es lugar de los hechos en un mundo de valores? O como expresó con rotundidad el pintor Ingles Constable.

“La pintura es una ciencia y los cuadros son sus experimentos”.

La hermenéutica es uno de los pilares de la creación del conocimiento. Sin embargo, en mi opinión. No hay que elegir entre empirismo, racionalismo, hermenéutica y pensamiento complejo, las cuatro corrientes epistemológicas son necesarias para comprender el caudaloso rio del conocimiento humano.

Referencias

1. Antoniou, I. E., & Tsompa, E. T. (2008). Statistical Analysis of Weighted Networks. *Discrete Dynamics in Nature and Society*. <https://doi.org/10.1155/2008/375452>
2. Baños González, I., Martínez Fernández, J., & Esteve, M. (2015). Simulación Dinámica de Sistemas Socio-ecológicos: Sostenibilidad en Reservas de la Biosfera. *Ecosistemas*, 22(3), 74-83. [10.7818/ECOS.2013.22-3.11](https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.11)
3. Barzanallana, R. (27 de 09 de 2016). Edward Lorenz, Padre de la Teoría del Caos y el Efecto Mariposa: <https://www.um.es/docencia/barzana/BIOGRAFIA/Biografia-Edward-Lorenz.php>
4. Olivas, J. A. (2015). La Lógica Borrosa y sus Aplicaciones. <http://arantxa.ii.uam.es/~dcamacho/logica/recursos/fuzzy-into-esp.pdf>
5. A Million Maps. (07 de 12 de 2008). A Million Maps. http://justcallmecait-lincolumbus.blogspot.mx/2008_12_01_archive.html
6. ABC España. (2014). La Proporción Aurea Presente en la Naturaleza. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/proporcion-aurea-explicacion-patrones-naturaleza_20723
7. Agencia EFE. (22 de 05 de 2019). Linchamientos en México Registran Aumento de 190 % con 174 casos en 2018. <https://www.efe.com/efe/america/sociedad/linchamientos-en-mexico-registran-aumento-de-190-con-174-casos-2018/20000013-3982778>
8. Allen, P. M. (1998). Allen, P. M. *Evolving Complexity in Social Science Systems: New Paradigms for the Human Sciences*, 3-38. Walter de Gruyter.
9. Álvarez-Buylla, E., & Frank Hoefflich, A. (2013). El Centro de Ciencias de la Complejidad de la UNAM: Piedra de Roseta para la Ciencia en México. *Interdisciplina*, 1(1), 171-180. <http://revistas.unam.mx/index.php/inter/article/view/46520>
10. Aprender a Pensar. (2015). Small World. Aprender a Pensar: <http://thegray-matters.aprenderapensar.net/2009/10/17/smallworld-ii/>. Small
11. Arango, S. (17 de 02 de 2016). ¿Qué son el Crowdsourcing y el Crowdfunding? Youngmarketing.com: <http://www.youngmarketing.co/que-es-y-como-ha-transformado-el-crowdsourcing-al-emprendimiento/#ixzz49gvUvixC>

12. Arranz de la Peña, J., & Parra-Truyol, A. (2007). *Algoritmos Genéticos*. Universidad Carlos III.
13. Arriaga, E. (2003). La Teoría de Niklas Luhmann. *Convergencia*, 1(23), 277-311.
14. Arribas- Fernández, C. (2019). *Sistemas Neuro mórfico*. Tesis de grado: Universidad de Oviedo.
15. Ashby, W. (1956). *Introducción a la Cibernética*. Methuen And Company.
16. *Astronomía* (2015). Life is artificial. <http://www.astromia.com/astromia/vidartificial.htm>
17. ATC- Innova. (12 de 12 de 2018). El software Venzim: tc-innova.com/atc_ven-sim_ple.htm
18. Atkins, D., Borgman, C. I., Bindhoff, N., Ellisman, N., Foster, I., & Ynnerman, A. (2010): Building a UK Foundation for the Transformative Enhancement of Research Innovation. RCUK Review of e-Science.
19. Axell, R. (1999). Why Agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Sciences. Charles M.; Sallach, David, eds. (3-24). University of Chicago: Argonne National Laboratory: Proceedings of the Workshop on Agent Simulation: Applications, Models, and Tools.
20. Axelrod, R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. Basic Books.
21. Babarasi, A. L. (2002). *Linked: How Everything is Connected to Everything Else and What it Means*. Plume Editors.
22. Babarasi, A. L., & Reka, A. (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 1(286), 509-512.
23. Babarasi, L. A. (2015). *Network Science Book*. Cambridge University Press.
24. Bachelard, G. (1989). *Epistemología*. Anagrama.
25. Baeza- Yates, R., Castillo, C., & Graells, C. (2006). Características de la Web Chilena. http://www.ciw.cl/material/web_chilena_2006/
26. Bak, P. (1996). *How Nature Woks: The Science of Self-organized Critically*. Copernicus.
27. Bak, P., & Chen, K. (1991). Criticabilidad Auto organizada. *Ciencia y Desarrollo* (79), 23-35.

28. Bak, P., Tang, C., & Wiesenfeld, K. (1987). Self Organized Criticality: an explanation of $1/f$ noise. *Physical Review Letters* (59), 381-384.
29. Ban-Yar, Y. (1997). *Dynamics in Complex Systems*. Boston: Westview Press.
30. Bangu, S. (2018). Indispensability, Causation and Explanation. *Theoria. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia*, 32(2), 219-232.
31. Bar-Yam, Y. (1997). *Complexity Arising: From Human Beings to Human Civilization, Complexity Profile*. EOLSS UNESCO Publishers <http://www.necsi.edu/projects/yaneer/EOLSSComplexityRising.pdf>.
32. Bar-Yamm, Y. (2004). *Multiscale Variety in Complex Systems*. <http://www.necsi.edu/research/multiscale/multivariety.html>
33. Barabasi, A. L., & Albert, R. (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286(5439), 509–512. 10.1126/science.286.5439.509. MR 2091634. PMID 10521342.
34. Barallo, J., & Sanchez, S. (2001). *Fractal Types and Coloring Algorithms*. In *Mathematics and Design*. Deakin University.
35. Barranco, R. (18 de 06 de 2012). IBM.¿Qué es Big Data?: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/local/im/que-es-big-data/>
36. Barrat, A., Barthelemy, M., & Pastor-Satorras, R. (2004). The Architecture of Complex Weighted Networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(11), 3747-3752.
37. Barreiro, E. (18 de 1 de 2009). *Ingeniería de Software. Administración de Proyectos*: <http://es.slideshare.net/kikebar/ingeniera-del-software-de-gest-tin-tema-5-presentation>
38. Barroso, G. (18 de 10 de 2018). Endometriosis. https://www.huffingtonpost.es/entry/endometriosis-innovaciones-en-su-tratamiento_es_5c8a8f6ee4b0866ea24d46df.html
39. Batagelj, V., & Mrvar, A. (2 de 11 de 2020). Pajek. <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>.
40. Bateson, G. (1972). *Pasos hacia una Ecología de la Mente: Colección de Ensayos en Antropología, Psiquiatría, Evolución y Epistemología*. Ballantine Books.
41. Bateson, G., & Mead, M. (1942). *Balinese Character: A Photographic Analysis*. Academy of Sciences.

42. Batista, R. (26 de 02 de 2014). El Mapa de los Carteles de la Droga en México. El Sol de la Florida. <http://elsoldelaflorida.com/279461/>
43. Batram, A. (1995). Navegar en la Complejidad. *Granica*.
44. Bavelas, A. (1948). A Mathematical Model for Group Structure. *Human Organization*, 1(7), 16-30.
45. Beaumont, F. (12 de 11 de 1987). Michio Sugeno. El País. e http://elpais.com/diario/1987/11/12/ultima/563670009_850215.html
46. Becerra-Fernandez, I. T. (2000). The Role of Artificial Intelligence Technologies in Implementing People-finder Knowledge Management Systems. *Knowledge-Based Systems*, 13(5), 315-320. [https://doi.org/10.1016/S0950-7051\(00\)00091-5](https://doi.org/10.1016/S0950-7051(00)00091-5)
47. Benotou, F. (26 de 10 de 2011). Quora. If Godel, Escher, and Bach Explain Modern ideas. <https://www.quora.com/If-Godel-Escher-Bach-could-be-updated-to-explain-modern-ideas-of-creativity-what-names-should-be-substituted-and-why>
48. Benson, A. R., Gleich, D. F., & Leskovec, J. (2016). Higher-Order Organization of Complex Networks. *Science*, 353(6295), 163-166.
49. Berkes, F. (2004). Rethinking Community-Based Conservation. *Conservation Biology*, 18(3), 621-630.
50. Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2008). *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press.
51. Bernardo, I., Dos Santos, J. C., & Gomes de Castro, M. (2015). *Monografias. Autómatas Celulares*. <http://www.cin.ufpe.br/~if114/Monografias/Automatos%20Celulares/>
52. Berners-Lee, T. (2000). *Tejiendo la Red: el Inventor del World Wide Web Descubre su Origen. Siglo XXI*.
53. Bio- Est. (0 de 11 de 2011). Origen de la vida: Experimento de Miller y Urey. <http://bio-est.blogspot.com/2011/11/origen-de-la-vida.html>
54. Biografías y Vidas. (30 de 06 de 2019). Murray Glenn Man. https://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/gell_mann.htm

55. Biotecno. (13 de 04 de 2023). Torre de Laparoscopia. <https://biotecno.com.bo/collections/unidades-de-negocio-1/products/torre-laparoscopica>
56. Black, S. (2 de 01 de 2013). Prisoner Dilemma. <https://www.sovereignman.com/lifestyle-design/the-prisoners-dilemma-10293/>
57. Bob. (12 de 10 de 2014). Think Different. Dancing with Entropy: <https://flowchainsensei.wordpress.com/2014/10/12/entropy-as-an-asset-and-a-friend/>
58. Bohle, S. (2014). Nature.com, Spektrum der Wissenschaft (Scientific American),. What is E-science and How Should it Be Managed? http://www.scilogs.com/scientific_and_medical_libraries/what-is-e-science-and-how-should-it-be-managed
59. Boletín de Dinámica de Sistemas. (5 de 01 de 2019). 10 Pasos para construir un modelo de Simulación. <http://dinamica-de-sistemas.com/revista/0603f.htm>
60. Bollobas, B., Riordan, O., Spencer, J., & Tusn, G. (2001). The Degree Sequence of a Scale-Free Random Graph Process. *Random Structures and Algorithms*, 18(3), 279–290. 10.1002/rsa.1009. MR 1824277
61. Bonabeau, E., & Th eralauz, G. (2008). Inteligencia de Enjambre. *Scientific American Special Edition*, 18(1), 40-47.
62. Bonabeu, E., Dorigo, M., & Th eralaz, G. (1999). Inteligencia de Enjambre:
63. De los Sistemas Naturales a los Artificiales. Oxford University Press.
64. Bonacich, P. (1977). Factoring and Weighting Approaches to Clique Identification. *Journal of Mathematical Sociology*, 2(1), 113-120.
65. Bonebeau, E., & Meyer, C. (2002). Inteligencia de Enjambre: una forma completamente Nueva de Pensar sobre los Negocios. *Harvard Business Review*, 79(5), 107-114.
66. Bonillo, V. M. (2013). Principios Fundamentales de Computación Cuántica. Universidad de La Coruña.
67. Boosch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (28 de 07 de 2015). El Lenguaje Unificado del Modelado. <http://elvex.ugr.es/decsai/java/pdf/3E-UML.pdf>
68. Borge-Holthoefler, J., & Moreno, Y. (2012). Absence of Influential Spreaders in Rumor Dynamics. *Physical Review E*, 85(2), 026116.

69. Boulding, K. (1977). The universe as a General System. Fourth Annual Ludwig Von Betarlanffy Memorial lecture. *Behavioral Science*, 22(4), 299-306.
70. Boulding, K. E. (1956). General Systems Theory—The Skeleton of Science. *Management Science*, 2(3), 197-208.
71. Bowles, S. (1985). Post-Marxian Economics: Labour, Learning and History. *Social Science Information*, 24(3), 507.
72. Briones, C. (2018). El Origen de la Vida. https://mx.video.search.yahoo.com/search/video;_ylt=A2KLfReB_aVfziMAHHTD8Qt.;_ylu=Y29sbwNiZjEE-cG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3BpdnM-?p=dr.+carlos+briones&fr2=piv-web&fr=mcafee#id=9&vid=f47bd9e7be167c989c9ffc2b44ef65fi&action=view
73. Brito, T., & Botter, R. (2011). A Conceptual Comparison Between Continuous Simulations to Motivate the Hybrid Simulation Methodology. (3915-3927). *Proceeding of Winter Simulation Conference*.
74. Bruch, E. E., & Mare, R. (2006). Neighborhood Choice and Neighborhood. *American Journal of Sociology*, 667-709.
75. Bryan, I., & Managuelod, J. (07 de 11 de 2013). Optimizing Foreign Internal Defense to Counter Dark Networks: Direct and Indirect Approaches for Security and Development Efforts. *Small Wars Journal*. <https://smallwarsjournal.com/jml/art/optimizing-foreign-internal-defense-to-counter-dark-networks>
76. Buenas prácticas de Gestión. (03 de 11 de 2016). Sistema Viable de Stanford Beer. sistema-viable/sistema-viable.shtml#ixzz3Qei3Ub9
77. Buldu, J. (16 de 11 de 2011).. Barabási, el “Hub” de las Redes Complejas: <http://www.madrimasd.org/blogs/redes-complejas/2011/11/16/690/>
78. Bush, V. (1945). As We May Think. *The Atlantic Monthly*. 176(1), 101-108.
79. Business Intelligence (29 de 12 de 2011). ¿Que es OLAP? <http://www.businessintelligence.info/definiciones/que-es-olap.html>
80. Busitelce. (17 de 07 de 2015). BI & DW Fundamentals: What is OLAP - Online Analytical Processing?: <http://www.busitelce.com/data-warehousing/5-bi-dw-fundamentals-what-is-olap-online-analytical-processing>
81. Byrne, D., & Callaghan, G. (2013). *Complexity Theory and the Social Sciences: The State of the Art*. Routledge.

82. Byrne, D. (2002). *Complexity Theory and the Social Sciences: An introduction*. Routledge.
83. C3 Centro de Ciencias de la Complejidad (2015). <http://c3.unam.mx/investigacion/proyectos>
84. Callagan Innovations. (18 de 05 de 2017). New Zeland Innovation Agency. <https://www.callaghaninnovation.govt.nz/blog/ai-demystified>
85. Callejas, M., Valero, H., & Alarcón, A. (2015). Simulación Basada en Dinámica de Sistemas para Evaluar la Calidad del Servicio de Transporte en un Sistema Social Complejo. *DYNA*, 80(180), 33-40.
86. Callon, J. (2 de 07 de 2015). Complejidad- Ciclo matica. <http://javier.callon.org/complejidad-ciclomatica>
87. Camargo- Vega, J. J., Camargo- Ortega, J. F., & Joyanes- Aguilar, L. (2015). Conociendo Big Data. *Revista de Ingeniería*, 24(38), 63-77.
88. Campos, R. (2007). Incertidumbre y Complejidad: Reflexiones acerca de los retos y dilemas de la Pedagogía Contemporánea. *Revista Actualidades Investigativas en Educación*, 1-14.
89. Cannon, W. (1929). Organization for Physiological Homeostasis. *Physiological Review*, 399-431.
90. Cano, T. (2019). *Redes de Colaboración Científica entre los Investigadores Nacionales del Ciencias Económicas en el Sistema Nacional de investigadores en México*. Universidad La Salle León. Tesis de Doctorado en Administración.
91. Caparrini, F. S. (14 de 12 de 2013). *Sistemas Multiagente y Simulación*. <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=57>
92. Caparrini, F. S. (2014). *Introduccion a las Redes Complejas*. <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=80>
93. Caparrini, F. S. (12 de 10 de 2018). *Autómatas Celulares*: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=66>
94. Capra , F. (1996). *La Trama de la vida*. Anagrama.
95. Cardenas, M. L., Piedrafita, G., Montero, F., & Cornish-Bowden, A. (2019). ¿Qué es la vida? *Sociedad Española de Biología y Bioquímica Celular*. <https://www.sebbm.es/revista/articulo.php?id=233&url=que-es-la-vida>

96. Cardeñas-Tapia, M. (2016). Análisis de la Red de Medio Ambiente del Instituto Politécnico Nacional de México. México: UNAM Facultad de Comercio y Administración. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Administración.
97. Cárdenas, M., Rivas, L., Ramírez, A., & Simon, N. (2015). Análisis de la estructura de una red de conocimiento en México. *Revista de Ciencia Sociales*, 1 - 26.
98. Cardenas, M., Simon, N., & Rivas, L. A. (2015). Las Redes de Conocimiento en la Temática de Medio ambiente y Sustentabilidad en México. El caso del CONACYT, el IPN y la UNAM. En *Sustentabilidad y Gestion en las Organizaciones*. Universidad Estatal de Sonora- La Universidad de Sonora- el Instituto Tecnológico de Sonora.
99. Cárdenas. Tapia, M., & Rivas- Tovar, L. A. (2018). Patrones de Publicación de los Investigadores SNI Nivel III en Ciencias Sociales en México. México: IPN.
100. Cardinal , P. (2014). Medicina de Sistemas: una Nueva visión de la Práctica Clínica. *Archivos de Bronconeumología*,50(10). <http://www.archbronconeumol.org/es/medicina-sistemas-una-nueva-vision/articulo/90348826/>
101. Cardona, H. (21 de 12 de 2022).Historia de la Computación: <https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-la-computacion-8c66be24-641f-43ed-933a-7d38c9730a75>
102. Cardoso, C., Bert, F., & Podesta, G. (2015). International Interamerican Institute for Global Science Research. Modelos Basados en Agentes (MBA). Definición, Alcances y Limitaciones. http://www.iai.int/wp-content/uploads/2014/03/Cardoso_et_al_Manual_ABM.pdf
103. Carley, K. M., & Grasser, L. (1999). *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. Boston: MIT.
104. Caroll,J. (25 de 05 de 2016). Human-Computer Interaction. Interaction Design Foundation. <https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/human-computer-interaction-brief-intro>
105. Castellani, B. (2013). Map of Complexity Science. Courtesy of Arts and Science Factory, LLC, Cleveland, OH. <http://scimaps>.
106. Castellani, B. (2018). Map of Complexity Systems. Science Factory. https://www.art-sciencefactory.com/complexity-map_febo9.html

107. Castellani, B., & Castellani, J. (2003). Data Mining: Qualitative Analysis with Health Informatics Data 13(7). *Qualitative Health Research*, 13(7), 1005-1018.
108. Castellani, B., & Hafferty, F. (2015). *Assemblage: A Method for Doing Qualitative & Historical Complexity Science B*: http://www.cabdyn.ox.ac.uk/complexity_PDFs/ECCS06/Conference_Proceedings/PDF/p128.pdf
109. Castellani, B. (2013). Map of complexity science. Courtesy of Arts and Science Factory, LLC, Cleveland, OH. org/maps/map/map_of_complexity_sc_154/in: K. Börner und TN Theriault (Hg.) *Places & Spaces: Mapping Science* (<http://scimaps.org>). 9th Iteration (2013) Sc
110. Castells, M. (2000). *La Sociedad de la Información. Siglo XXI*.
111. Castillo, O., & Vidal, M. (2012). Cirugía Robótica. *Revista Chilena de Cirugía*. 64(1), 88-91. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=345531952016>
112. Castillo, Y. (2016). ¿Como empezó la vida? https://digital.csic.es/bitstream/10261/172147/1/Castillo_2016.pdf
113. Cazau, P. (2014). Teoría del Caos. http://antroposmoderno.com/antro-articulo.php?id_articulo=152
114. Centro de Estudios Cervantinos. (26 de 07 de 2019).¿Cuáles son las Ramas de las Ciencias Sociales?<https://www.centroestudioscervantinos.es/ramas-de-las-ciencias-sociales/>
115. Cepeda, K., Durango, K. A., & Bohórquez, L. E. (2017). Modelación y Simulación Basada en Agentes como Alternativa para el Estudio de las Organizaciones Empresariales. *Investigación*, 13(22), 103-119. 10.16925/in.v13i22.1838
116. Chase- Dunn, C. Kawano, Y., & Brewer, B. D. (2000). Globalization Since 1975: Waves of Integration in the World-System 65 (1): 77-95. *American Sociological Review*, 65(1), 77-95.
117. Chekland, P. (2002). *La Metodología de Sistemas Suaves en Acción*. Limusa.
118. Chen, H. C. (2012). Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact. *MIS Quarterly*. 36(4), 1165-1188.
119. CHM.(23 de 12 de 2022).Supercomputadora CDC 6600. <https://www.computerhistory.org/revolution/supercomputers/10/33>
120. CIDE.(2020).Programa de Política de Drogas. <https://ppdata.politicadedrogas.org/#ppd.gc>

121. Clyde A. Hutchison III R.-Y.-G.-Q. (2016). Design and Synthesis of a Minimal Bacterial Genome. *Science*, 1-11.
122. Clynes, M., & Kline, N. (September de 1960). Cyborg and Space.Astronautics, 26--27, 74--76.
123. Coca, J., & Valero, J. (2010). (BIO)Technological Images about Human Self-Construction on Spain Context: a Preliminary Study. *Studies in Sociology of Science*, 1(1), 58-66.
124. Comocualquiera.(2014). Comocualquiera. Efecto Mariposa. <http://comocualquiera.com/efecto-mariposa/>
125. Conceptos Básicos sobre Redes Neuronales. (2015). <http://grupo.us.es/gto-coma/pid/pid10/RedesNeuronales.htm>
126. Conde, S. (8 de 2 de 2011). Arquitectura Von Neumann: <https://es.slideshare.net/fjruiziesalixar/arquitectura-von-neumann>
127. Conley, D. (2009). Escribir como un Rebaño. *Identidades Sociales*, 15(4), 447-461.
128. Cook, S. (2006). The P versus NP Problem. *The Millennium Prize Problems*, 87-104.
129. Coppo, J. A. (2010). Teoría del Ccaos y Método Científico. *Revista Veterinaria*, 21(2), 157-167.
130. Countrymeters. (7 de 2 de 2022). Población Mundial en Tiempo Real. Reloj de Población Mundial: <http://countrymeters.info/es/World>.
131. Conway, J. (1976). *On Numbers and Games*. Cambridge University Press.
132. Crane, R., & Sornette, D. (2008). Robust Dynamic Classes are Revealed by Measuring the Response Function of a Social System. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(41), 15649-15653.
133. Creativityinabox. (2015). Creativity Process: <http://creativityinabox.co.uk/ingredients/the-creative-process.html>
134. Creswell, J. (1998). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing among five Traditions*. Sage Publications.
135. Crowder, R., Robinson, & Sim, M. (2007). *Application of Agent Technology to Traffic Simulation*. United States Department of Transportation.

136. Crowder R., Robinson, M., Hughes, H., & Sim, Y. (2012) The Development of an Agent-Based Modeling Framework for Simulating Engineering Teamwork. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, 42(6), 1425–1439.
137. Cueva- Lovello, J. M. (1998). *Conceptos Básicos de Procesadores de Lenguaje*. Servitec. Universidad de Oviedo.
138. Cynver.(2014).Cibernetica. https://cynverbd.wordpress.com/2011/05/03/inicios_cibernetica/
139. Daisy Ball. (1 de 11 de 2020).DaisyWorld & the Gaia Hypothesis: <http://gingerbooth.com/flash/daisyball/index.htm>
140. Datameister. (29 de 07 de 2013). Fear and Loathing in Data Science: http://r-datameister.blogspot.mx/2013_07_01_archive.html
141. Daviding. (9 de 07 de 2018). Living Systems | James Grier Miller | 1978. <https://stream.syscoi.com/2018/07/09/living-systems-james-grier-miller-1978/>
142. Dawarka, V., & Bekaro, G. (2022). Building and Evaluating Cloud Robotic Systems: A Systematic Review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 73, 102240. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102240>
143. Dawkings, R. (1989). *The Selfish Gene*.Oxford Univ. Press.
144. Definicion.de. (2015). Homeostasis: <http://definicion.de/homeostasis/>
145. DeGeest, D., & Brown, K. G. (2011). The Role of Goal Orientation in Leadership Development. , 22(2),. *Human Resource Development Quarterly*, 22(2), 157-175.
146. Descartes, R. (2004). *Discurso del Método*.Colihue.
147. Descartes, R. (2004). *Discurso del Método*.Ediciones Colihue.
148. Diego. (22 de 05 de 2014). Reproducción en Animales. <http://es.slideshare.net/diegol1980/reproduccion-en-animales>
149. Discovery Chanel. (2006). Vida Artificial. <https://www.bing.com/videos/search?q=vida+artificial&FORM=HDRSC3#view=detail&mid=8BC98F1BFB-86D03C7F738BC98F1BFB86D03C7F73>
150. Diseño Mecatrónico - Mechatronics Technician Summary Design. (27 de 04 de 2018). Control difuso.<http://designandmechatronics.blogspot.com/2013/03/logica-difusa-fundamentos-parte-2.html>

151. DM. (31 de 07 de 2015). Data Mining.<http://www.the-data-mine.com/Software/DataMiningSoftware>
152. Doan, A., Ramakrishan, R., & Halevy, A. (2011). Crowdsourcing Systems on the World-Wide Web. *Communications of the ACM*. 54(4), 86-96.
153. Domínguez , J. (2 de 08 de 2018). EOM.Evolución de Carteles de la Droga: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/la-evolucion-de-los-carteles-mexicanos/>
154. Domínguez, N. (18 de 02 de 2021). El Pais. Perseverance llega a Marte. <https://elpais.com/ciencia/2021-02-18/perseverance-llega-a-marte-en-el-aterri-zaje-mas-complicado-de-la-historia.html>
155. Dorogoytsev, S. N., & Mendes, J. F. (2002). Accelerate Growth in Networks. Cornell University Library. <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0204102>
156. Download 32. (2015). Alive. <http://www.download32.com/alife-software.html>
157. Dreher, T. (24 de 10 de 2020). Historia del Arte Computar Informático. http://www.psych.utoronto.ca/users/reingold/courses/ai/cache/neur_net.htm
158. Drexler, K. E. (1992). Nano systems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation. John Wiley & Sons.
159. Drogoul, A., Vanbergue, D., & Meurisse, T. (2003). Multi-Agents- Agents Based Simulation. Proceedings of MBAS 2002 (págs. 1-15). Bologna Italia: Springer - Verlag.
160. Drucker, T. (2008). Perspectives on the History of Mathematical Logic. Springer Science & Business Media.
161. Durón- González, , F. R., Rivas- Tovar , L. A., & Cárdenas- Tapia, M. (2022). *Ingeniería*, 28(1), 1-25.<https://doi.org/10.14483/23448393.19021>
162. E- Learning Conocimiento en Rred. (12 de 2012).<http://e-learning-teleformacion.blogspot.mx/2012/12/autopoiesis-epistemologia-ea-dudada.html#.VeSLnTZRG3C>
163. Ekeland, I. (1977). La théorie des Catastrophes. *La Recherche* , 8(81), 745-754. <http://pst.chez-alice.fr/TCIvarEk.htm>

164. El Economista. (17 de 12 de 2012). Violencia y Armas en EU. <http://economista.com.mx/infografias/2012/12/17/violencia-armas-eu-tras-crimen-conecticut>
165. El Justo Reclamo. (21 de 05 de 2007).Ladillas: http://eljustoreclamo.blogspot.mx/2007_05_21_archive.html
166. Elison, J. A. (1979). The Development and Validation of A Scale To Assess Different Student Orientations Towards Grades and Learning. Unpublished Doctoral Dissertation. Universidad de Tennessee.
167. Emergence of a PITC WorkShop. (15 de 05 de 2005). <http://pitp.physics.ubc.ca/archives/CWSS/emergence/>
168. Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37(1), 32–64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
169. Epstein, J. (2002). Modeling Civil Violence: An Agent-Based Computational Approach. *PNAS*, 99(14), 7243–7250.
170. Epstein, J. M. (1996). The Gods of Sugar Space. *Science News*, 150(21), 332.
171. Epstein, J. M. (1999). Agent-Based Computational Models And Generative Social Science. *Complexity*, 4(5), 41–60.
172. Epstein, J., & Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up*. Boston: MIT/Brookings Institution.
173. Erdos, P., & Renyi, A. (1959). On Random Graphs. I. *6: 290–297. Publicationes Mathematicae*, 1(6), 290–297.
174. Escher, M. C. (1935). Obtenido de Hand with Reflecting Sphere: <http://una-docenade.com/una-docena-de-obras-de-m-c-escher/>
175. Euroresidentes. (3 de 07 de 2015). Obtenido de Nanotecnología y Big data: <http://boletin-noticias-nanotecnologia.euroresidentes.com/2015/07/nanotecnologia-y-big-data-la-proxima.html>
176. Everton, S. F. (2012). . (2012). *Disrupting dark networks* . Cambridge: Cambridge University Press.
177. Every Day Astronaut. (21 de 05 de 2021). Perseverance. <https://everydayastronaut.com/perseverance-vs-curiosity/>

178. Facebook. (2012). Anatomy of Facebook: <https://www.facebook.com/notes/facebook-data-team/anatomy-of-facebook/10150388519243859?tag=mn-col;txt/>
179. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile. (27 de 10 de 2007). Modelos de Simulación Urbana. http://modelosdesimulacionurbana.blogspot.com/2007_10_01_archive.html
180. Farnos, D. (13 de 10 de 2018). Escalabilidad Comportamiento y Desempeño: Oportunidades de Aprendizaje. <https://juandomingofarnos.wordpress.com/2018/01/14/escalabilidad-comportamiento-y-desempeno-oportunidades-de-aprendizaje/>
181. Feigenbaum Graphs: A Complex Network Perspective of Chaos. (s.f.).
182. fen-om.com. (1993). Lógica Borrosa. <http://www.fen-om.com/spanish-theory/theory128.pdf>
183. Fenton, I. (13 de 09 de 2013). SimPachamama. ¿Qué es el Modelado Basado en Agentes?. <http://www.inesad.edu.bo/simpachamama/es/2013/09/que-es-el-modelado-basado-en-agentes/>
184. Ferber, J. (1999). Multi-Agent Systems: An Introduction to Artificial Intelligence. Addison-Wesley.
185. Fernández -González, A. (2020). Análisis y Evaluación del Uso de la Supercomputación en la Mejora del Desempeño Formativo. Tesis de Doctorado (Universidad de León España).
186. Ferrer, M. (16 de abril de 2015). Cartel Jalisco Nueva Generación: Nuevo Imperio del Narco. Reporte INDIGO. <http://www.reporteindigo.com/reporte/mexico/cartel-jalisco-nueva-generacion-el-nuevo-imperio-del-narco>
187. Feymangroup. (1 de 12 de 2012). Who is Richard Feynman? feymangroup.com.
188. Flirck Fotos. (06 de 08 de 2021). Ornitoptero de Leonardo. <https://www.flickr.com/photos/57440551@N03/9882116484/>
189. Forester, H., Mora, P. M., & Amiot, L. W. (1960). Doomsday: Friday. *Science*, 2026(132), 1291–1295.
190. Forester, V. H. (1991). *Las Semillas de la Cibernética*. Gedisa.

191. Forrester, J. (1994). System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR. *System Dynamics Review*, 10(2), 245-256.
192. Forrester, J. W. (1971). *World Dynamics*. Wright-Allen Press.
193. Francisco Luna Parra. (2015). Pagina personal. <http://www.parraluna.es/>
194. Franquet, J. (2015). Edument. net. El Estudio Operativo de la Psicología una Aproximación Matemática. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2008b/405/La%20entropia%20de%20Shannon.htm>
195. Franzke, B., & Kosko, B. (2011). Noise Can Speed Convergence in Markov Chains. *Physical Review*(84), 041112.
196. Freedictionary. (2015). Entropy. <http://www.thefreedictionary.com/entropy>
197. Freeman, L. (1977). A Set of Measures of Centrality Based in Betweenness. *Sociometry*, 35 - 41.
198. Funes, P. (08 de 05 de 2001). Obtenido de Measuring Complexity: <http://www.cs.brandeis.edu/~pablo/thesis/html/node137.html#bennet85>
199. Gardner, M. (1970). The Fantastic Combinations of John Conway New Solitaire Game. *Scientific American*, 112-120.
200. Galicia-Anaya, S. (2018). *Perdurabilidad en la Bolsa Mexicana de Valores 1875-2016*. México: Instituto Politecnico Nacional. Tesis de Doctorado en Ciencias Administrativas.
201. Galvão Scheidegger, A. P., Fernandes Pereira, T., Moura de Oliveira, M., Banerjee, A., & Barra Montevechi, J. A. (2018). An Introductory Guide for Hybrid Simulation Modelers on the Primary Simulation Methods in Industrial Engineering Identified Through. A Systematic Review of Literature. *Computers & Industrial Engineering*, 124, 474-492. doi:10.1016/j.cie.2018.07.046
202. García- Garcilazo, E. (2018). *Análisis en los Patrones de Ocultamiento de Drogas en la Aduanas de México*. IPN ESCA Santo Tomás. Tesis de Maestría en Administración de Negocios.
203. García, J. (15 de 12 de 2014). Circuito Aleph. Cuando el Caos y la Entropía Reinen en el Univers. <https://circuitoaleph.net/2014/12/15/cuando-el-caos-y-la-entropia-reinen-en-el-universo/>

204. García, J. (25 de 08 de 2015). European Business Scholl. IEDGE- CRM Data warehouse, Datamining.<http://blog.iedge.eu/direccion-marketing/marketing-relacional/datamining/javier-garcia-crm-datawarehouse-datamining/>
205. García, R. (2006). *Sistemas Complejos*. Gedisa.
206. García-Piñero, P. (2008). *Introducción a los Algoritmos Genéticos y sus Aplicaciones*. e <http://www.uv.es/asepuma/X/J24C.pdf>
207. García-Valdecasas, J. I. (2014). Explicación, Mecanismo y Simulación. *Revista de Metodología en Ciencias Sociales* 1, 38-51.
208. Garrido, A. (2016). Historia de la Polémica sobre la Lógica Difusa. *Éndoxa: Series Filosóficas*, 329-345.
209. Gell-Mann, M. (1995). *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*. Macmillan.
210. Gerla, G. (2005). Logic Programming and Fuzzy Control, 79 (2005) 231-254. *Studia Logica*, 1(79), 231-254.
211. Gershenson, C. (18 de 10 de 2014). *Simplemente Complejo*. *Vida Artificial*: <http://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/34/posts/vida-artificial-12512>
212. Gershenson, C. (2015). *La Jornada Ciencia*. *Vida Artificial*. <http://ciencias.jornada.com.mx/investigacion/ciencias-quimicas-y-de-la-vida/investigacion/vida-artificial>
213. Gil, N. (2006). Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Estadística Sede Medellín. *Algoritmos Genéticos*. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/algoritmos-geneticos/algoritmos-geneticos.pdf>
214. Gilbert, N. (2007). *Agent-Based Models*. Sage Publications.
215. Gilbert, N., & Troitzsch, K. G. (2005). *Simulation for the Social Scientist*. Milton Keynes: Open University Press.
216. GILLENXT. (2015). *Electro-Identidad de Guillermo J. Gil Aitken*. Las 5 generaciones de robots. <http://www.guillenxt.com/2012/03/las-5-generaciones-de-la-robotica.html>
217. GLOBAL. (29 de 07 de 2015). *Términos*. *Emergencia Compleja*. <http://www.gloobal.net/iepala/gloobal/fichas/ficha.php?entidad=Terminos&id=412>

218. GNU Operating System. (18 de 06 de 2022). <https://outlook.office.com/mail/inbox>
219. Godoy-Viera, A. (2017). Técnicas de Aprendizaje de Máquina Utilizadas para la Minería de Texto. *Investigación Bibliotecológica*, 3(71), 103-125. <https://doi.org/10.22201/iibi.0187358xp.2017.71.57812>
220. Goldenberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley.
221. González, C. (2011). *Lógica Difusa: Una introducción Práctica*. UCLM. http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf
222. González- Muñiz, A. (2018). *Aplicaciones de Técnicas de Inteligencia Artificial Basadas en Aprendizaje Profundo (Deep Learning) Al. Análisis y Mejora de la Eficiencia de Procesos Industriales*. Tesis de Fin de Master. Universidad de Oviedo.
223. Google Libros. (18 de 05 de 2016). *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*: https://books.google.es/books/about/Big_Data.html?id=HpHcGakFEjkC&redir_esc=y&hl=es
224. Granovetter, M. (1978). Threshold Models of Collective Behavior. *American Journal of Sociology*, 83(6), 1420-1443.
225. Granovetter, M. (2005). The Impact of Social Structure on Economic Outcomes. *Journal of Economics Perspectives*, 1(19), 33-50.
226. Grimm, V., & Railsback, S. F. (2005). *Individual-based Modeling and Ecology*. University Press.
227. *Growing Artificial Societies*. (2015). *The Sugarscape - An Overview*: <http://sugarscape.sourceforge.net/>
228. Gürer, D. W., Khan, I., Ogier, R., & Keffer, R. (1996). An Artificial Intelligence Approach to Network Fault Management. *Sri International*, 1(86), 1-20.
229. Gustafsson, L., & Sternad, M. (2010). Consistent Micro, Macro, and State-Based Population Modeling. *Mathematical Biosciences*, 225(2), 94-107.
230. Hajjajl, Y., Wadii, W., Riadh, I., Romdhani, I., & Hussain, A. (2020). Big Data and IoT-based Applications in Smart Environments: A Systematic Review. *Computer Science Review*, 39(10318), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100318>

231. Hamideh, S. (2 de 08 de 2012). The Art of Sense-Making in Public Relations: <http://saidhamideh.blogspot.mx/2012/08/the-art-of-sense-making-in-public.html>
232. Hammond, D. (2003). *The Science of Synthesis: Exploring the Social Implications of General Systems Theory*. Colorado University Press.
233. Hannema, R. A. (1988). *Computer-Assisted Theory Building: Modeling Dynamic Social Systems*. London: Sage Publications, Inc.
234. Hart, J. K., & Martinez, K. (2006). Enviromental Sensor Networks: A revolution in the Earth System Science? *Earth-Science Reviews*, 78(3), 177-191.
235. Hartmanis, J., & Stearns, R. E. (1965). On the Computational Complexity of Algorithms. *Transactions of the American Mathematical Society*, 1(117), 285-306.
236. Heckbert, S., Baynes, T., & Reeson, A. (2010). Agent-Based Modeling in Ecological Economics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185(1), 39-53.
237. Heer, J., Boostock, M., & Ogievetsky, V. (27 de 05 de 2016). Stanford University. A Tour Through the Visualization Zoo. <http://homes.cs.washington.edu/~jheer/files/zoo/>
238. Helal, M., & Rabelo, A. (2004). An Enterprise Simulation Approach to Development of Dynamic Balanced Score card. *Proceeding of the American Society of Engineering Management Conference*.
239. hen8a. (2014). Metodología de los Sistemas Suaves de Chekland: <https://hen8a.wordpress.com/2012/05/21/metodologia-de-los-sistemas-suaves-de-checkland/>
240. Henschen, D. (30 de 01 de 2014). Information Week. 16-top-big-data-analytics-platforms: http://www.informationweek.com/big-data/big-data-analytics/16-top-big-data-analytics-platforms/d/d-id/113609?image_number=1
241. Hernández, R., & Rivas- Tovar, L. A. (2008). La Teoría de la Complejidad una Nueva Disciplina Multicientífica y sus Bases para la Aplicación en la Administración. *Revista Universidad y Empresa*, 10(14), 129-154.
242. Herramientas en GNU/Linux. (17 de 08 de 2015). Tipos de Redes Neuronales. Redes auto organizadas: <http://www.ibiblio.org/pub/linux/docs/LuCaS/>

Presentaciones/200304curso-galisa/redes_neuronales/curso-galisa-redes_neuronales-html/x152.html

243. Herrán, M. (2015). GAIA. Red Científica. Ciencia Tecnología y Pensamiento: http://www.redcientifica.com/gaia/va/va_c.htm
244. HERS Foudation. (13 de 04 de 2023). Hysterectomy Educational Resources and Services Foundation.<https://hersfoundation.org/>
245. Heylighen, F., & Joslyn, C. (2001). Cybernetics and Second-Order Cybernetics. Encyclopedia of Physical Science & Technology.
246. Hilbert, M., & Lopez, P. (2011). The World's Technological Capacity to Store, Communicate and Compute Information. *Science Journal*, 332(6025), 60-65.
247. Hoeschl, H. C., & Barcellos, V. (2006). Artificial Intelligence and Knowledge Management. I . n IFIP International Conference on Artificial Intelligence in Theory and Practice (11-19). Springer.
248. Hofstede, G. (1978). The poverty of management control philosophy. *Academy of Management Review*, 3(3), 450-461.
249. Holland, J. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Michigan:U-niversity Michigan Press.
250. Holling, C. S., Barkes, F., & Folke, C. (1998). Science, Sustainability and Resource Management. *Liking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. *Grey literature*, 342-362.
251. Honda. (2015). ASIMO. <https://es.wikipedia.org/wiki/ASIMO>
252. Hopkins, B. (28 de 10 de 2011). Beyond the Hype of Big Data. 28(1), 15-18.
253. Huber, R., Ruitenbeek, J., & Motta, R. S. (1998). Market-based instruments for Environmental Policy Making in Latin America and Caribbean. *World Bank Discussion Paper* (381).
254. Huerta, A. (2014). *Metodología para la Modelación Basada en Sistemas Complejos (MOSASCOM)*. Universidad Nacional Autónoma de México.
255. Hughes, H., Clegg, C., Robinson, M., & Crowder, R. (2012). Agent-based Modeling and Simulation: The Potential Contribution to Organizational Psychology. *Journal of Occupational and Organization Psychology*, 85(3), 487-502.

256. Hurt, J. (20 de 07 de 2012). The Three Vs of Big Data as Applied to Conferen- ces. <http://velvetchainsaw.com/2012/07/20/three-vs-of-big-data-as-applied-conferences/>
257. Hyperphysics. (2015). Diagramas de Feynmann: <http://hyperphysics.phy-as- tr.gsu.edu/hbasees/particles/expar.html>
258. IBM. (25 de 05 de 2016). ¿What is Big Data? <http://www-01.ibm.com/software/data/bigdata/what-is-big-data.html>
259. IBM. (20 de 06 de 2019). The World's First Integrated Quantum Computing System: <https://www.youtube.com/watch?v=LAA0-vjTaNY>
260. ILICE.(2015).Los mitos del Caos: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/142/htm/sec_6.htm
261. INCAE. (2010). Tener Sentido. Gestión. <http://www.gestion.com.do/index.php/abril-2010/110-de-aliados/aliados-abril-2010/169-tener-sentido-qsense-makingq>
262. Informática Hoy. (25 de 05 de 2016).¿Qué es Petabyte? <http://www.informatica-hoy.com.ar/aprender-informatica/Que-es-Petabyte.php>
263. Ingeniería de Automoción. (15 de 11 de 2018). Plan de Control de Proceso: <https://ingenieriadeautomocion.wordpress.com/2018/03/28/plan-de-control-de-proceso/>
264. Iñiguez, L., & Munoz, J. (2014). Lupicinio Iñiguez, Juan Muñoz Justicia. Re- vista Hispana para el Análisis de Redes Sociales, 10(3), 1-8. La Estructura de la Psicología Social en España: Estructura de Comunidades: http://revista-redes.rediris.es/html-vol10/vol10_3.htm
265. Innes, J. E., & Boodher, D. E. (2003). The Impact of Collaborative Planning on Governance Capacity. Working Papers.
266. Instituto Tecnológico de Sonora. (13 de 09 de 2012). Pensamiento de Sis- temas. <https://pensamientodesistemasaplicado.blogspot.com/2012/09/mode- lo-de-elementos-organizacionales.html>
267. Inteligencia Artificial.(2010). Biografía de Frank Rosenblatt: <http://ia4cm1.blogspot.mx/2010/08/biografia-de-frank-rosenblatt.html>
268. Izquierdo, L., Galan, J., Santos, J., & Olmo, R. (2008). Modelación de Siste- mas Complejos Mediante Simulación Basada en Agentes y Mediante Dinámi- ca de Sistemas. Revista de Metodología en Ciencias Sociales, 1(16), 85-112.

269. Jahanpour, E., & Chen, X. (2012). Analysis of Complex Network Performance And Heuristic Node Removal Strategies. *Communication in Nonlinear Science And Numerical Simulation*, 18(12), 3458-3468.
270. Jantsch, E. (1980). *Self-Organizing Universe*. Pergamon Press.
271. Jbabdi, S., Sotiropoulos, S. N., & Haber, S. N. (2015). (2015). Measuring Macroscopic Brain Connections In Vivo. *Nature Neuroscience*, 18(11)1546-1555. <https://www.nature.com/articles/nn.4134>
272. Jegundo, A. L., Dantas, C., Quintas, J., & Dutra, J. (2020). Perceived Usefulness, Satisfaction, Ease of Use and Potential of a Virtual Companion to Support the Care Provision for Older Adults. *Technologies*, 8(42). <https://doi.org/10.3390/technologies8030042>
273. Johnson. (12 de 1 de 1999). Of Mice and Elephants: A Matter of Scale. *New York Times Science*, <http://www.nytimes.com/1999/01/12/science/of-mice-and-elephants-a-matter-of-scale.html?pagewanted=all&src=pm>.
274. Johnson, G. (02 de 05 de 2019). Murray Gell-Mann, Who Looked at Particles and Saw The Universe, Dies at 89. *New York Times*.
275. Jones, C. A., & Levy, D. L. (2007). North American Business Strategies Towards Climate Change. *European Management Journal*, 428-440.
276. Kast, F. E., & Rosenzweig, J. E. (1972). General Systems Theory: Applications for Organization and Management. *Academy of Management Journal*, 15(4), 447-465.
277. Kauffman, S. (1991). Anti-Chaos and Adaptation. *Scientific American*, 265(2), 78-84.
278. Kauffman, S. (1993). *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press.
279. Kauffman, S. (1995). *At Home in the Universe. The Search for Laws of Self-organization and Complexity*. Oxford University Press
280. Kaufman, R. (2004). *Planificación Mega. Herramientas Prácticas para el Éxito Organizacional*. Publicacions de la Universitat Jaume I.
281. Kaur, U., & Goyal, S. (2011). Una Encuesta sobre las Aplicaciones de las Técnicas de Optimización de las Abejas. *International Journal on Computer Science & Engineering*, 3(8), 3037-3046.

282. Kenneth, A. (1991). Conexionismo y la Inteligencia Artificial: La Historia y la Interpretación Filosófica. *Journal of Experimental e Inteligencia Artificial Teórica*, 4(4), 295-313.
283. Kiddle.(21 de 10 de 2020). Karl Popper for Kids. https://kids.kiddle.co/Karl_Popper
284. Kleimberg, J. M. (2000). Navigation in small world. *Nature*, 1(406), 845.
285. Klein, J. T. (2003). Unit of Knowledge and Transdisciplinarity: Context of Definition, Theory and The New Discourse of Problem-Solving. Wayne State University.
286. Klein, M. Sayama, H., Faratin, P., & Bar-Yam, Y. (2003). Negociado Contratos Complejos, Grupos de Decision y Negociación. <http://www.necsi.edu/research/negotiation/>
287. Klein, M., Samaya, H., Faratin, P., & Bar-Yam, Y. (2003). The Dynamics of Collaborative Desing: Insights From Complex Systems and Negotiation Research. *Concurrent Engineering: Research an Application (CERA Journal)*, 11(3), 201-209.
288. Klir, G. (1991). *Facetas de la Ciencia de Sistemas*. Kluwer/ Plenum.
289. knowgarden.net. (20 de 01 de 2015). Teoría de la Complejidad (Complexity Theory). <https://twitter.com/knowgarden/status/557465018674216960>
290. Kohonen, T. (1982). Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. 43 (1) *Biological Cybernetics*, 43(1), 59-69.
291. Kosko, B. (1998). Hidden Patterns in Combined and Adaptive Knowledge Networks. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2(4), 377-393.
292. Kowald, A., & Kirkwood, T. (1994). Towards a Network Theory of Ageing: A Model Combining The Free Radical Theory And The Protein Error Theory. *Journal in Theory in Biology*, 168(1), 75-94.
293. Krackhardt, D., & Borgatti, S. (2005). *Analyzing Social Network Data*. Sage Publications, Inc.
294. Kranasov Institute. (2015). University Goerge Mason. <http://www.css.gmu.edu/?q=node/16>

295. Kyoung, H. (2014). Group Discussion. Network Measures and Network Models. <http://cns-classes.bu.edu/cn710/Fall2007/index.php?n=Main.DiscussionPage-Class2Linked>
296. L2TOR. (26 de 10 de 2020). Qué es L2TOR. <http://www.l2tor.eu/what-is-l2tor/>
297. La Morsa. (24 de 03 de 2014). Las Hormigas de Cris Langton. <http://la-morsa.blogspot.mx/2014/01/vida-artificial-las-hormigas-de-langton.html>
298. Lambarry- Vilchis, F., Rivas- Tovar, L. A., & Peña, M. L. (2011). Planeación de los Sistemas BRT y Consensos entre Transportistas Y Autoridades de Gobierno durante su Implementación: el caso de Metrobús y Mexibús. *Administración y Desarrollo*, 39(54), 133-150.
299. Lambarry- Vilchis, F., Rivas-Tovar, L. A., & Trujillo, M. M. (2012). Conflict Resolution Through Consensus Building Approach In the Implementation of Bus Rapid Transit System. *International Journal of Business and Management*, 7(14), 1-17.
300. Lambarry, F., Rivas- Tovar, L. A., & Trujillo, M. M. (2013). Desarrollo de una Escala de Medición de la Percepción en la Calidad del Servicio en los Sistemas de Autobuses de Tránsito Rápido a partir del Metrobús de la Ciudad de México. *Innovar*, 23(50), 79-92.
301. Lambarry-Vilchis, F., Rivas-Tovar, L. A., & Trujillo- Flores, M. M. (2010). Institutional Aspects on Bus Rapid Transit Systems Implementations in Mexico City, State of Mexico, and Leon Guanajuato. *International Journal of Management and Strategy*, 1(1), 93-109.
302. Laroosa, J. (2014). Análisis de redes sociales. Un ejercicio de Acción Colectiva: El 8N en Twiter: <http://ars-uns.blogspot.mx/2013/03/un-ejemplo-de-accion-colectiva-el-8n-en.html>
303. Larrosa, J. (24 de 11 de 2014). Redes Libres de Escala: <http://ars-uns.blogspot.com/2014/11/ars-101-redes-libres-de-escala.html>
304. Lasilla, O., & Hendler, J. (2007). Embracing Web 3.0. IEEE Computer Society.
305. Lazim, A., & Wahab, N. (2010). A Fuzzy Decision-Making Approach in Evaluating Ferry Service Quality. *Management Responsibility*, 94-107.
306. leadershipcloseu. (12 de 10 de 2012). La fuerza de los Lazos Débiles en las Redes Sociales: Busca ser Digno de Conocer: <http://www.leadershipcloseup.com>

com/2012/12/14/strength-of-weak-ties-in-social-networking-seek-to-be-worth-knowing/

307. Levins, R. (1966). The Strategy of Model Building in Population Biology. *American Scientist*, 54(4), 421-431.
308. Li, T. Y., & Yorke, J. A. (1975). Period Three Implies Chaos. *American Mathematical Monthly* (82), 985.
309. Li, Y., Díaz, M., Morantes, S., & Dorati, Y. (2018). Vehículos Autónomos: Innovación en la Logística Urbana. *Revista de Iniciación Científica*, 4(1), 34-39. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.1.1864>
310. Liapanov, A. (1907). Probleme Generale de La Stabilité du Mouvement. *Anales de la Facultad de Ciencias de Toulouse*, 9(1907), 203-474. http://archive.numdam.org/article/AFST_1907_2_9__203_0.pdf
311. Liebowitz, J. (2001). Knowledge Management and Its Link to Artificial Intelligence. *Expert Systems with Applications*, 20(1), 1-6.
312. Livio, M. (2006). La Proporción Aurea. Ariel.
313. Lloyds, S. (2011). Measures of Complexity a Non-Exhaustive List. Laboratory for Information Systems and Technology. Department of Mechanical Engineering. MIT: <http://www.web.mit.edu/esd.83/www.notebook/Complexity/PDF>
314. López, R. (2012). El Legado de un Científico Visionario. *El País*. http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/03/20/actualidad/1332271841_073504.html
315. Lorenz, E. (1963). Deterministic Non-Periodic Flow. *Journal of Atmospheric Science*, 20(1), 130-141.
316. Lovelock, J. (2007). *The Revenge of Gaia*. Penguin.
317. LSA Complex System Universidad de Michigan. (2015). <http://www.lsa.umich.edu/csacs/research/researchgroupsandprojects>
318. Luhmann, N. (1994). *Social Systems*. Stanford University Press.
319. Luhmann, N. (1997). *Organización y Decisión, Autopoiesis y Entendimiento Comunicativo*. Antrophos.
320. Luna- Parra, F. (2000). ¿Para qué sirve la Teoría de Sistemas en Sociología? *Revista Española de Sociología*, 15(81), 77-111.
321. Lund, B. D., & Wang, T. (2023). Chatting about ChatGPT: How may AI and GPT Impact Academia and Libraries? *Library Hi Tech News*. <https://www>.

emerald.com/insight/content/doi/10.1108/LHTN-01-2023-0009/full/html?casa_token=_KUK48SndBcAAAAA:ESMRk1GPJiQestv5EEaGupR9mByV-U9Bb-02v_7wDOUfiUOjDQusxoRTjLIToncRnVms4yTqPEhfpE1nB_ciKgB6wd2XCUKSs4UhiUgk6w3J5axwxWGGe

322. Luo, B., Lau, R., & Si, Y. W. (2022). A Critical Review of State-of-the-Art Chatbot Designs And Applications. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 12(1), e1434. [10.1002/widm.1434](https://doi.org/10.1002/widm.1434)
323. Luque, B., Lacasa, L., Ballesteros, F. J., & Robledo, A. (2011). Feigenbaum Graphs: A Complex Network Perspective of Chaos. *PLoS ONE*, 6(9), e22411. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022411>
324. Lyapunov. (2015). Vida y Obra. http://es.wikipedia.org/wiki/Aleksandr_Liapunov
325. M., D., Castermans, T., & Petieau, M. (2013). Performance of the Emotiv EPOC Headset for P300-Based Applications. *Biomedical Engineering Online*, 1(12), 1-15.
326. Ma, X., Li, J., Guo, F., Cui, C., & Chen, T. (2022). Study on Influence Factors of Public Participation Willingness in Substation Projects. *Frontiers in Psychology*, 13, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.999229>
327. Maass, M. (2008). Reseña de Socio cibernética. Lineamientos de un Paradigma de Chaime Marcuello Servó Estudios sobre las Culturas Contemporáneas. 14(27), 169-171. <http://www.redalyc.org/pdf/316/31602708.pdf>
328. Malinietski, G. G. (2006). Fundamentos Matemáticos de la Sinérgica. Caos, Estructuras y Simulación con Ordenador. Moscú: URSS. <http://valle.ciencias.unam.mx/librosautor/Sin3rg3tica.pdf>
329. Mandelbrot, B. (1982). W. H. Freeman & Co.
330. Mandensen, S. (3 de 05 de 2014). Become a Better Communicator with DISC Profiling. <http://www.susannemadsen.co.uk/blog/previous/2>
331. Martínez-Mendoza, E. (2018). Evaluación de los Modelos de Negocios y sus Impactos Tecnológico, Económico, Social Y Ambiental del Sector Eólico en el Istmo de Tehuantepec. Tesis de Doctorado Facultad de Contaduría Administración UNAM.
332. Martínez, A. (13 de 07 de 2011). Parentesis.com. ¿Qué es un Zetabyte?: http://www.parentesis.com/noticias/ciencias/Sabes_que_es_un_zettabyte

333. Martínez, D. (11 de 10 de 2011). Dra. Elisa Schaeffer en la UANL. <http://roberto-mtz.blogspot.mx/2011/03/diagramas-de-clase-y-secuencia-de-uml.html>
334. Martínez-López, F. J., & Casillas, J. (2013). Artificial Intelligence-Based Systems Applied in Industrial Marketing: An Historical Overview, Current and Future Insights. *Marketing Management*, 42(4), 489-495.
335. Martin-Moreno, J. L. (20 de 06 de 2017). Platzi.¿Que son los Cubits?: <https://platzi.com/tutoriales/1098-ingenieria/1521-que-son-los-cubits/>
336. Marutana, M. (1963). The Second Cybernetics: Desviation-Amplifying Mutual Causa. *American Science*, 164-179.
337. Matè, C. (2014). Big Data. *Anales de Mecánica y Electricidad*(Nov-Dic), 10-16.
338. Mathematics and Art. (18 de 11 de 2012). Fractals in Nature: <http://thewondersofmathandart.blogspot.com/2012/11/fractals-in-nature.html>
339. Maturana, F. H., & Varela, F. J. (1979). *Autopoiesis and Cognition: The Realization of Living*. Boston Studies of Philosophy of Science.
340. May, R. M. (1976). Simple Mathematical Models with Very Complicated Dynamics. *Nature*, 261(5560), 459-467.
341. May, R. M. (2019). *Stability and Complexity In Model Ecosystems*. Princeton University Press.
342. Mayo, M., Abdelzaher, A., & Ghosh, P. (2015). Long-Range Degree Correlations in Complex Networks. *Computational Networks*, <http://www.computational-social-networks.com/content/2/1/4>.
343. McCabe, T. (1976). *Ieee Transactions on Software Engineering*. 2(4), 308-320.
344. McCulloch, W., & Pitts, W. (1943). A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(1), 115-133.
345. Meadows, D. H., Meadows, D. L., Jaserger, R., & Behrens III, W. W. (1972). *The Limits to a Report for The Club of Rome`s Project on Predicament of Mankind*. Potomac Associates.
346. Melbourne-Thomas, J., Jhonson, C. R., Fung, T., Seymour, R. M., Cheubin, L. M., Arias-Gonzalez, J. E., & Fulton, E. A. (2011). *Regional Scenario modeling*

- for coral reefs: A Decision Support Tool to Inform Management A Complex System. *Ecological Applications*, 21(4), 1380-1398.
347. Melgarejo, M., & Obregón, N. (2017). Diseño de Modelos Complejos para la Simulación. *Educación Humanismo*, 19(33), 320-333. [10.17081/educ-hum.19.33.2647](https://doi.org/10.17081/educ-hum.19.33.2647)
 348. Mena, C. (2003). Complexity in Organizations: A Conceptual Model. University of Warwick Warwick Manufacturing Group.
 349. Mendoza- Martínez E., E., Rivas-Tovar, L. A., & Lambert, G. (2020). Social Impact Wind Energy Tehuantepec Isthmus, México Using Likert-fuzzy. *Energy Strategic Reviews*, 32, 100567. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100567>
 350. Merelo, J. (2015). Mapa Auto- Organizativos de Kohonen. <http://geneura.ugr.es/~jmerelo/tutoriales/bioinfo/Kohonen.html>
 351. Mexiquense. (18 de 02 de 2021). Robot Realiza Cirugía a una Paciente Completamente Despierta. e <https://radioyvmexiquense.mx/index.php/2021/02/18/robot-realiza-cirugia-a-una-paciente-completamente-despierta/>
 352. Michel, V. H. (20 de 07 de 2015). Los Carteles se Dividen en 42 Células. *El Financiero*.
 353. Milgram, S. (1974). *Obedience to Authority; An Experimental View*. Boston: Harpercollins.
 354. Miller, G. (1978). *Living Systems*. McGraw- Hill.
 355. Mingers, J. (1992). Recent Developments in Critical Management Science. *Journal of the Operational Research Society*, 43(1), 1-10.
 356. Mira cómo se Hace. (2021). Brazo Biónico <http://veli63.blogspot.com/2011/01/el-brazo-bionicos.html>
 357. Mitchell, M., Holland, J. H., & Forrest, S. (1994). ¿When Will a Genetic Algorithm Outperform Hill Climbing? *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1(6), 51-58.
 358. Mondrian. (26 de 05 de 2016). About. <http://www.theusrus.de/Mondrian/>
 359. Modular Robotics. (07 de 02 de 2019). Can you Make a Computer with Cubelets?: <https://www.modrobotics.com/2019/01/28/can-you-make-a-computer-out-of-cubelets/>

360. Molina, L. M. (11 de 2002). UOC. Data Mining Torturando a los Datos hasta que Confiesen: <http://www.uoc.edu/web/esp/art/uoc/molina1102/molina1102.html>
361. Monografias. (2015). Data Mining. <http://www.monografias.com/trabajos/datamining/datamining.shtml#ixzz3hNXmoIZC>
362. Moon, F. (1990). Chaotic and Fractal Dynamics. Springer-Verlag.
363. Moore, K., & Chumbley, A. (19 de 06 de 2019). Brilliant Complexity Classes. <https://brilliant.org/wiki/complexity-classes/#pspace-npspace-and-expspace>
364. Morin, E. (1990). Introducción al Pensamiento Complejo. Gedisa.
365. Morin, E. (1994). Introducción a los Sistemas Complejos. Gedisa.
366. Morin, E. (1999). La Inteligencia de la Complejidad. Gedisa.
367. Morin, E. (2004). La Epistemología de la Complejidad. Gaceta de Antropología, 20(2), 1-14. https://www.ugr.es/~pwlac/G20_02Edgar_Morin.pdf
368. Morin, E., & Bergadá, D. (1974). El Paradigma Perdido: El Paraíso Olvidado Kairos.
369. Morin, E., & Parkman, M. (1994). Introducción al Pensamiento Complejo. Gedisa.
370. Morphwize. (2015). Swarm Dynamics: http://www.morphwize.com/company/index.php?option=com_k2&view=itemlist&task=tag&tag=complex+system+solution
371. Muñoz, J. D. (1996). Autómatas Celulares y Física Digital. Primer Congreso Colombiano de Neuro Computación (pág. 28). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
372. Nanotecnología, A. e. (2015). ¿Qué es la Nanotecnología? <http://www.nanotecnologia.cl/que-es-nanotecnologia/>
373. National Geographic. (8 de 11 de 2017). Efecto Mariposa: ¿el Aleteo de una Mariposa en Sri Lanka pueda provocar un Huracán en EE.UU?: <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2017/11/el-efecto-mariposa>
374. Nature.(2011).Portada Revista Nature Internet Network: <http://www3.nd.edu/~networks/Linked/newfile13.htm>
375. Nature. (23 de 08 de 2011). Number of Species on Earth Tagged at 8.7 million. <https://www.nature.com/news/2011/110823/full/news.2011.498.html>

376. NECSI. (2015). New England Complex System Institute. <http://www.necsi.edu/about/>
377. NetworkX. (2014). Gigant component.http://networkx.lanl.gov/archive/networkx-1.1/examples/drawing/giant_component.html
378. Neuman, J. (1966). The Theory of Self. Reproducing Automata. University of Illinois Press.
379. Newman J. (2003). Finding and Evaluating Community Structure in Networks.
380. Newman, M. E. (2003). The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*, 45(2), 167-265.
381. Newman, V. (2014). Biografías y Vidas. <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/n/neumann.htm>
382. Niazi, A. K. (30 de 08 de 2011). Towards A Novel Unified Framework for Developing Formal, Network and Validated Agent-Based Simulation Models of Complex Adaptive Systems. (PhD Thesis). Universidad de Sterling: <http://dspace.stir.ac.uk/handle/1893/3365#.VbZMk4dRE3E>
383. Nikolai, C., & Madey, G. (2008). Tools of the Trade: A Survey of Various Agent Based Modeling Platforms, 12 (2). *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(2), 34-44.
384. Nof, S. Y. (1999). *Handbook of Industrial Robotics*. John Wiley & Sons.
385. Nonlinear and Complex Systems Research Group. (2015). University of Portsmouth. <http://www.port.ac.uk/department-of-mathematics/research/>
386. Nuñez, B. (2016). Diseño de un Modelo de Dinámica de Sistemas para Analizar las Cuentas Energéticas del Transporte en España. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/22123/1/TFG-I-554.pdf>
387. Oficefacil.com. (2010). ¿Que es una Infografía?. <http://www.oficel.com/oficel-infografias-que-es-definicion-como-se-hacen.php>
388. Opazo, M., & Rodríguez, D. (2017). Repensando los Límites de las Organizaciones por Medio de la Teoría de Sistemas. *Revista del Magíster en Análisis Sistemático Aplicado a la Sociedad*, 1(36), 22-37.
389. OPENAI. (30 de 04 de 2023). ChatGPT en Español: Chatbot de OpenA. <https://www.new-chatgpt.com/es.html>

390. Ranturank. (15 de 08 de 2020). Qu'est-Ce que Tiktok et À Quoi Sert-Il? <https://qwanturank-qwanturank-qwanturank.fr/marketing/tiktok-application-reseaux-sociaux>
391. Orejas, F. (28 de 02 de 2013). Sociedad. Año de Turing. Lo imposible: <https://blogs.elpais.com/turing/2013/02/lo-imposible.html>
392. Orlandoni I, G., & Ramoni, J. (2018). Análisis y Simulación de Modelos Económicos Complejos. Bucaramanga.
393. Owen, E. (1997). Grey Walter: The Pioneer of Real Artificial Life, Holland. Proceedings of the 5th International Workshop on Artificial Life. MIT Press.
394. Oxford University. (2015). Computer Science Departament. <http://www.cs.ox.ac.uk/people/michael.wooldridge/>
395. Padron, J. (2007). Tendencias Epistemológicas de la Investigación Científica en el Siglo XXI. Cinta de Moebio, 28(8), 1-2.
396. Pascual, J. A. (4 de 07 de 2020). Computer Hoy. Petaflops, la Unidad de Medida de los Superordenadores. <https://computerhoy.com/reportajes/tecnologia/petaflops-unidad-medida-superordenadores-667982>
397. Pastor, J. A. (2011). Tecnologías de la Web Semántica. Editorial UOC.
398. Peinado, J., & Garcia, J. (abril de 2008). En el Nombre de Tux. Autómatas Celulares: <http://www.enelnombredetux.com/project.php?project=autcel>
399. Pellicer, C. (1981). He Olvidado mi Nombre. Poeticous. <https://www.poeticous.com/carlos-pellicer/he-olvidado-mi-nombre?locale=es>
400. Penrose, R. (1974). Bull. Institute Maths. Appl. 1(10), 266.
401. Perez- Ventura, J. (14 de 10 de 2013). Sistema Capitalista según Wallerstein: <https://www.scoopnest.com/es/user/elOrdenMundial/819744590806843393-un-sistemamundo-dividido-en-centro-y-periferia-analizamos-la-imprescindible-teora-de-immanuel-waller>
402. Piaget, J. (1971). Introduction to Genetic Epistemology. Harper.
403. Pinter-Wollman, N., Hobson, E. A., Smith, J., Edelman, A. J., Shizuka, D., & De Silva, S. (2014). The Dynamics of Animal Social Networks: Analytical, Conceptual, and Theoretical Advances. Behavioral Ecology, 25(2), 242-255.
404. Piraveenan, M., Prokopenko, M., & Zomaya, A. Y. (2008). Local Assertiveness in Scale-Free Networks. Europhysics Letters, 84(2), 28002.

405. Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia Basada en el índice de Shannon y la Riqueza. *Interciencia*, 31(8), 23-34.
406. Poincare, H. (1882). *Theorie Des Groupes Fuohsiens*. *Acta Math.*, 1 (1882) 1-62. https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.acta/1485801055
407. Polari Magazine. (23 de 06 de 2012). How an Adolescent Gay Love Story Changed The Shape Of The Digital Future. <http://www.polarimagazine.com/features/gay-love-story-led-invention-computer/>
408. Polasky, S., Carpenter, S. R., Folke, C., & Keeler, B. (2011). Decision Making under great uncertainty: Environmental Management in an Era of Global Change. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(8), 398-404.
409. Pooper, K. (1934). *Der Forschung, Logik*. Vienna.
410. Poornima, P. K., & Rodríguez, R. L. (2013). Dynamics of Organizational KMS Implementation and Adoption. *Journal of Knowledge Management Practice*, 14(3).
411. Popper, K. R. (1977). *Búsqueda sin Término: Una Autobiografía Intelectual*. Tecnos.
412. Poston, T., & Stewart, I. N. (1978). *Catastrophe Theory and its Applications*. Pitman.
413. Prigogine, I. (1996). *El fin de las Certidumbres*. E book: Andres Bello.
414. Prigogine, I. (2012). *El Nacimiento del Tiempo*. Fabula Tusquets.
415. Programmable WEB. (29 de 05 de 2016). *Textalytics*: <http://www.programmableweb.com/api/textalytics>
416. Python (2015). *Python for Social Networks*. http://www-rohan.sdsu.edu/~gawron/python_for_ss/course_core/book_draft/Social_Networks/Social_Networks.html
417. Racionero, L. (25 de 03 de 1986). *Teoría de las Catástrofes*. *El País*, http://elpais.com/diario/1986/03/25/opinion/512089209_850215.html.
418. Ramírez, J. A., & Chacón, M. (2011). Redes Neuronales Artificiales para el Procesamiento de Imágenes. Una Revisión de la Última Década. *Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación*, 9(11), 7-16. https://d1wqtxtsixzle7.cloudfront.net/50547298/art2vf_redes_neuronales_artificiales_para_el_procesamiento_de_imagenes-una_revision_de_la_ultima_deca

da-libre.pdf?1480124059=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRedes_neuronales_artificiales_pa

419. Razeto- Barry, P., & Ramos- Jilberto, R. (2013). Autopoiesis. Un Concepto Vivo. Nueva Civilización.
420. Real Academia Española. (2015). Robótica: <http://lema.rae.es/drae/?val=robotica>
421. Real Academia. (27 de 07 de 2015). Real Académica de la Legua Española. Diccionario. <http://lema.rae.es/drae/?val=emergencia>
422. Real Academia. (23 de 10 de 2020). Catástrofe. <https://dle.rae.es/catastrofe?m=form>
423. Real Academia de Ingeniería de España. (18 de 05 de 2014). Diccionario Español de Ingeniería. Real Academia de Ingeniería de España.
424. Real Academia de la Lengua Española. (02 de 03 de 2019). Diccionario. Feedback: <https://dle.rae.es/?id=Hink8Rd>
425. Rebaudo , F., Crespo- Pérez, V., Silvan, J., & Dangles, O. (2011). Agent-Based Modeling of Human - Induced Spread of Invasive Species in Agricultural Lands Scapes: Insights from the Potato Landscapes in Ecuador. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 14(3), 7. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/14/3/7.html>
426. Red del Grupo de investigadores en Sistema Complejos del IPN. (2015). CCSI IPN. Obtenido de <http://comunidad.escom.ipn.mx/sistemascomplejos/Welcome.html>
427. Red Latinoamericana de Estudios sobre Complejidad. (2014). Red Latinoamericana de Estudios Complejos. <http://c3.unam.mx/Redlacom/mexico.html>
428. Redes. (2015). Redes y Tipos de Redes. ¿Cuántos Tipos de Redes Hay?: <http://es.slideshare.net/jesiman/redes-y-tipos-de-redes-presentation-566475>
429. Redes Sociales. (2015). Reportaje Digital sobre las Redes Sociales. <https://reportajeredessociales.wordpress.com/2009/05/31/barry-wellman/>
430. Revista de Robots. (14 de 10 de 2021).¿Qué es el Robot Da Vinci? ¿Partes y Operaciones de Cirugía Robótica que Realiza?: <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robot-da-vinci-la-revolucion-quirurgica/?cn-reloaded=1>

431. Reyes, M., Guerrero, V., & Zapico, F. (15 de 09 de 2014). Uso del Algoritmo de Kohonen en Bibliotecas Universitarias. IsKo España. http://www.iskoiberico.org/wp-content/uploads/2014/09/15_Barragan.pdf
432. Rimer, R. (08 de 03 de 2013). Mundo Informático. http://avffer.blogspot.mx/2013/03/sistema-operativo_960.html
433. Riva- Palacio, R. (31 de 08 de 2015). 'El Chapo' y el Elefante. El Financiero. <http://www.elfinanciero.com.mx/opinion/el-chapo-y-el-elefante-en-la-sala.html>
434. Riva- Palacio, R. (03 de 08 de 2015). La Peor Crisis de Peña (1). El Financiero. <http://www.elfinanciero.com.mx/opinion/la-peor-crisis-de-pena-i.html>
435. Rivas- Tovar, L. A. (2009). Influencia de la Teoría de la Complejidad en la Gestión Ambiental en México. IPN- Centro Mario Molina.
436. Rivas- Tovar L. A. (2021). Elaboración de Tesis. Trillas.
437. Robinson, S. (2004). *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. Willey.
438. Robinson, S. (2005). Discrete Event Simulation from the Pioneers to Present: What Next? *Operational Research Society*, 1(56), 619-629.
439. Robledo Velásquez, J., & Ceballos, Y. (s.f.). Estudio de un Proceso de Innovación Utilizando la Dinámica de Sistemas. 21(35), 127-159.
440. Rodas, J. (2001). Un ejercicio de Análisis Utilizando Rough Sets en un Dominio de Educación Superior Mediante. El Proceso KDD. Departamento de Lenguajes y Sistemas informaticos. Universidad de Barcelona.
441. Rodríguez, J. C. (2017). Cambio Tecnológico y Modelos de Simulación con Dinámica de Sistema. *Revista Nicolaita de Estudios Económicos*, 11(2), 107-123.
442. Rodríguez, M. (29 de 03 de 2012). Homeostasis y Medio Interno: <http://es.slideshare.net/SauloO/homeostasis-y-medio-interno>
443. Rodríguez-Soya, L., & Roggero, P. (2014). Modelos Basados en Agentes: Aportes Epistemológicos y Teóricos para la Investigación Social. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 60(225), 227-262.
444. Romero, M. C. (2009). *Sistemas Multi agente*. Universidad de Sevilla. Programa de Doctorado en Informática. Universidad de Sevilla Clase 2009-2010:

- <http://www.dte.us.es/personal/mcromero/masredes/docs/SMARD.0910.mas.pdf>
445. Rosen, R. (13 de 06 de 2019). Autobiografic Reminiscences. [https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Rosen_\(theoretical_biologist\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Rosen_(theoretical_biologist))
446. Rosenblatt, F. (1958). The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization In the Brain. *Psychological Review*, 65(3), 386-408.
447. Rosenblatt's Contributions. (2011). Rosenblatt's Contributions. <http://csis.pace.edu/~ctappert/srd2011/rosenblatt-contributions.htm>
448. Rouhiainen, I. (2018). *Inteligencia Artificial*. Alianza Editorial.
449. Rubio, P., & Mansilla, R. (2015). Aplicación de la Teoría de los Sistemas Dinámicos al Estudio de las Embolias Pulmonares. *Interdisciplina*(3). 10.22201/ceiich.24485705e.2015.6.47760.
450. Rumelhart, D. E., & McClelland, J. (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. MIT.
451. Rusell, B. (1923). Vagueness. *The Australasian Journal of Psychology and Philosophy*, 1(121), 84-92.
452. Salavisa, I., Videira, P., & Santos, F. (2009). Entrepreneurship and Social Networks in IT sectors: the Case of the Software Industry in Portugal. *Journal of Innovation Economics & Management*, 4(2), 15-39. <https://doi.org/10.3917/jie.004.0015>
453. Sánchez, A. P. (2011). *Tecnologías de la Web Semántica*. Editorial UOC.
454. Sánchez, C. (24 de 03 de 2015). Un Genio Vagabundo Amante de la Lógica, el Padre Incomprendido de la Cibernética. *El diario.es*. http://www.eldiario.es/hojaderouter/ciencia/Walter_Pitts-McCulloch-pioneros-cibernetica-inteligencia_artificial_o_367814000.html
455. Sánchez, M. F., Millán, F., Salvador, J., Palou, J., Rodríguez, F., Esquena, S., & Villavicencio, M. (2007). Historia de la Robótica: de Arquitas de Tarento al Robot Da Vinci (Parte I). *Actas Urológicas*, 31(2), 69-76.
456. Santa Fe Institute. (28 de 04 de 2020). In Memoriam Robert May. <https://www.santafe.edu/news-center/news/memoriam-robert-may>
457. Santa Fe Institute. (11 de 11 de 2020). Research. <https://www.santafe.edu/research/fellowships>

458. Santa Fe Institute. (2015). Santa Fe Institute Science for a complex world: <http://www.santafe.edu/about/>
459. SAP. (14 de 12 de 2022). ¿Qué es la Minería de Datos? <https://www.sap.com/latinamerica/insights/what-is-data-mining.html>
460. Save Tunisia for Good. (28 de 05 de 2015). Tunisian Fruit and Vegetable Seller, Mohamed Bouazizi, Set Himself Ablaze Outside Local Municipal Office. <https://savetunisforgood.wordpress.com/2015/05/28/tunisian-fruit-and-vegetable-seller-mohamed-bouazizi-set-himself-ablaze-outside-local-municipal-office/>
461. Schaeffer, J., & Aske, P. (1997). Kasparov versus Deep Blue: The re-match. *ICCA Journal*, 20(2), 95-101.
462. Schelling T. (1971). Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical*, 1, 143-186.
463. Scholapendia. (2015). Lógica Difusa. https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_control_system
464. Schumacher, P. (2011). *Autopoiesis en la arquitectura*. John Willey & Sons. *Autopoiesis de la Arquitectura*: <http://www.patrikschumacher.com/Texts/La%20Autopoiesis%20de%20la%20Arquitectura.htm>
465. Science. (2010). Portada del Proceso de Creación del ADN de la Micoplasma Mycoides. 329 (5987), 52-56. 10.1126/science.1190719
466. Science World. (6 de 11 de 2020). <http://scienceworld.wolfram.com/physics/FeynmanDiagram.html>
467. Scott, J. (1988). *Social Network Analysis*, 22(1). *Sociology*, 22(1), 109-127.
468. Sellers, M. (30 de 5 de 2011). *Advanced Analytical Techniques*. <http://intl520-summer2011-mas.wikispaces.com/Home>
469. Semanario Opciones. (21 de 02 de 2012). *El Cerebro*: <http://www.opciones.cu/fotos/2012-02-21/el-cerebro/>
470. Seminario de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud. (7 de 10 de 2016). *Partículas Elementales*. <https://seminariocienciasnat.wordpress.com/2016/10/07/particulas-elementales/>

471. Serretino, R. (2014). Fractales y Arquitectura. Clasificación de Tipos de Fractales: <https://fractalesyarquitectura.wordpress.com/2013/09/03/clasificacion-en-tipos-fractales-2da-parte/>
472. Shor, P. W. (1998). Quantum Computing. *Documenta Mathematica*, 1(1000), 1.
473. Siddigah, A., Niazi, M., Bokhari, H., Hussain, A., Akram, N., Shahenn, S., Igbal, S. (2009). A New Hybrid Agent Directed Simulation for Combat Modeling and Distributed Simulation. *Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation*, 15-16.
474. Simon, H. (1996). *The Sciences of The Artificial*. Boston: MIT Press.
475. Sinnexus. (30 de 07 de 2015). Business Intelligence Informatic Strategy. http://www.sinnexus.com/business_intelligence/datamining.aspx
476. Sistema en Crisis. (2015). Soluciones a la Crisis Económica Global. Resiliencia Financiera y Banca Corporativa. <http://sistemaencrisis.es/2014/02/09/resiliencia-financiera-y-banca-cooperativa/>
477. Smith, B., Burton, I., Klein, R. J., & Wandel, J. (2000). An Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability. *Climate Change*, 45(1), 223-251.
478. Sobradillo, P. (2011). Medicina P4. El Futuro a la Vuelta de la Esquina. *Archivos de Bronco Neumología*, 47(1). <http://www.archbronconeumol.org/es/medicina-p4-el-futuro-vuelta/articulo/13190682/>
479. Socescape. (19 de 12 de 2022). <http://www.socescape.edu.pl/index.php?id=how-to-map-racial-segregation-and-diversity>
480. Sole, R. V., & Manrubia, S. C. (2001). Orden y Caos en Sistemas Complejos. Universidad Politécnica de Cataluña. Orden y Caos en Sistemas Complejos.
481. Solis, J., & Estrada, H. (12 de 11 de 2020). Semantic Web Builder. Web 1.0, Web Social, Web Semántica... Y ahora, ¿qué sigue?: http://www.semanticwebbuilder.org.mx/es_mx/swb/Web_10_Web_Social_Web_Semantica_Y_ahora_que_sigue
482. Sosa, R. (2015). Afinar la Mirada del Diseñador ante Escenarios de Cambio Modelos de Simulación Social. Auckland University of Technology, New Zealand. <file:///C:/Users/lariv/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/9fd2841a-59a6-42eb-8b56-ab0ea2fec128/SosaCapituloModelosSimulacionsf.pdf>

483. Soy Científico. (2015). ¿Qué son los Diagramas de Feynmann?: <https://el-factorciencia.wordpress.com/2013/01/25/que-son-los-diagramas-de-feynman/>
484. Stafford-Beer, J. (1959). *Cybernetics and Management*. English University Press.
485. Stanford(2015). *Robots and Their Arms*: <http://infolab.stanford.edu/pub/voy/museum/pictures/display/1-Robot.htm>
486. Stanford Encyclopedia of Philosophy. (12 de 08 de 2013). Self-reference: <http://plato.stanford.edu/entries/self-reference/>
487. Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin- McGraw Hill.
488. Stephen, J. (1997). New The Scope of Supply Chain Management Research. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2(1), 15-22. <https://doi.org/10.1108/13598549710156321>
489. Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill.
490. Sterman, J. D. (2001). System Dynamics Modeling: Tools for Learning In Complex World. *California Management Review*, 43(4), 8-25.
491. Stringfield, S., Parry, L. A., Eisenstein, S. G., & Horgan, S. N. (2022). Experience with 10 Years of a Robotic Surgery Program at an Academic Medical Center. *Surgery Endoscopy*, 3(6), 1950-1960.
492. Strogatz, S. (1994). *Nonlinear Dynamic and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. Perseus Book.
493. Strogatz, S. H. (2001). Exploring Complex Networks. *Nature*, 410(6825), 268-276.
494. Sun, J., & Tang, J. (2011). A Survey of Models and Algorithms for Social Influence Analysis. En C. Agrawal, *Social Network data Analysis*. Prentice Hall.
495. Swan, M. (16 de 12 de 2011). Application of Complexity Theory: Away from Reductionism Phase Transitions. *Ethical technology*. <http://ieet.org/index.php/IEET/more/swan20121216>
496. Swanson, D. R., & Smalhanser, N. R. (1994). Assessing a Gap in the Biomedical Literature: Magnesium Deficiency and Neurology Disease. *Neuroscience Research Communications*, 19(1), 1.19.

497. Taddei, M. (2007). Leonardo da Vinci's Robots. <http://www.leonardo3.net/leonardo/books%20I%20robot%20di%20Leonardo%20-%20Taddei%20Mario%20-%20english%20Leonardo%20robots%201.html>
498. Tamayo, J. (2015). Simulación Híbrida de la Difusión de la Innovación. Universidad Nacional de Educación a Distancia. http://www.euclides.dia.uned.es/aurquia/Files/PFC_JosuTamayo.pdf
499. Taringa. (2015). Los 10 Robots Favoritos de las Películas y la Vida Real: <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/12550097/Los-10-robots-favoritos-de-las-peliculas-y-la-vida-real.html>
500. Tec Review. (26 de 09 de 2016). La Máquina de Turing Vuelve a Sonar. <https://tecreview.tec.mx/2016/09/26/uncategorized/la-maquina-de-turing-vuelve-a-sonar/>
501. The Famous People. (2 de 11 de 2020). Ylya Prigogine: <https://www.thefamouspeople.com/profiles/ilya-prigogine-7542.php>
502. Thorm, R. (1977). Stabilité Structurale et Morphogénèse. Interédition.
503. Tirados, A. (16 de 05 de 2018). Recorded Future. Dark Networks: Análisis de Redes Sociales de Comunidades Web Oscuras. <https://www.recordedfuture.com/dark-web-networks/>
504. Toca- Torres, C. (214). Inteligencia Colectiva: Enfoque para el Análisis de Redes. *Estudios Gerenciales*, 30(132), 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.01.014>
505. Toledo, V. M., Ortiz-Espejel, B., Cortes, L., & Ordoñez, M. J. (2003). The Multiple Use Of tropical Forest by Indigenous Peoples in Mexico: A Case of Adaptive Management. *Conservation Ecology*, 7(3), 9.
506. Top 500. (26 de 06 de 2019). TOP 500 Becomes a Petaflop Club for Supercomputers. <https://www.top500.org/>
507. Toro, V. (31 de 07 de 2020). Robots Cirujanos: un Avance Imparable a pesar de las Controversias. *El País*. <https://elpais.com/salud-y-bienestar/2022-08-01/robots-cirujanos-un-avance-imparable-a-pesar-de-las-controversias.html>
508. Torres- Sosa, C. (2014). Dinámica Evolutiva en Redes de Evolución Genética de Regulación. Tesis de Doctorado en Ciencias Bioquímicas: Universidad Nacional Autónoma de México.

509. Tranberg, B. (2014). Clustering in Complex World. <http://tberg.dk/post/clustering/>
510. Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2007). Decision Support and Business Intelligence Systems. Pearson Education.
511. Turksen, I., Turksen, L. B., & Wilson, A. W. (1994). Fuzzy Set Preference Model for Consumer Choice. *Fuzzy Sets Systems*, 1(68), 253-266.
512. ULADECH. (2 de 11 de 2020). Ejercicios Prácticos de Simulación: http://files.uladech.edu.pe/docente/32925630/proyecto_de_ingenieria_de_sistemas_chimbote/sesion_09/ejercicios%20practicos.pdf
513. UNED. (2015). Tipos de Maquinas de Turing. <http://maquinaturing.blogspot.mx/p/clasificacion-de-maquina-turing.html>
514. Universidad Los Andes. (2015). Micro Economía. Samuel Bowles. Comportamiento, Instituciones y Evolución. <http://bowlesmicroeconomia.uniandes.edu.co/autor.php>
515. Universidad Nacional del Noreste. (26 de 06 de 2019). Algoritmos. http://exa.unne.edu.ar/informatica/programacion1/public_html/archivos/tema10_algoritmos.pdf
516. Universidad Politécnica de Madrid. (26 de 05 de 2016). Open Courses de Datos Estructurados. <http://ocw.upm.es/ciencia-de-la-computacion-e-inteligencia-artificial/fundamentos-programacion/contenidosteoricos/ocwfundamentosprogramaciontema6.pdf>
517. Uribe, F. (2015). Modelo de Simulación de una Empresa de Transporte mediante Camiones. <http://dinamica-de-sistemas.com/revista/0615b.htm>
518. Urry, J. (2003). Global Complexity. Polity.
519. Valdiosera, C. (2015). La Vida Artificial y las Ciencias Computacionales. <http://www.cimac.org.mx/especiales/mujerytecnologia/lavidaartificial.html>
520. Van den Berghe, R., Verhagen, J., & Oudgenoeg-Paz, O. (2019). Social Robots for Language Learning: A Review of Educational Research, 89(2), 259-295.
521. Varela, F., & Maturana, H. (1997). De Máquinas y Seres Vivos, Autopoiesis de la Organización de lo Vivo. Editorial Universitaria.
522. Varela, F., Maturana, H., & Uribe, R. (1974). Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization, and a model. *Biosystems*, 1(5), 187-196.

523. Vensim (30 de 10 de 2020). Free Downloads. <https://vensim.com/free-download/>
524. Vera-Mora, G., Gleyva-Vásquez, M., & León-Acurio, J. (2018). Mapas Cognitivos Borrosos para el Análisis de Modelos Mentales. *Revista Espacios*, 39(15), 1-13. <https://revistaespacios.com/a18v39n15/18391522.html>
525. Villamil, F. (2013). blog del Curso de Sociología de la Comunicación y la Opinión Pública. Elecciones en Kenia: ¿Por qué no ha habido Violencia esta vez?: <https://aulascop.wordpress.com/2013/05/08/elecciones-en-kenia-por-que-no-ha-habido-violencia-esta-vez-por-francisco-villamil-fernandez/>
526. Villegas González, P. A. (2016). Modelación Integrada de Sistemas Socio-Ecológicos Complejos: Caso de Estudio la Ecorregión de la Mojana. *Ingeniería*, 21(3), 391-410.
527. Vinodh, S., Prasanna, M., & Hari Prakash, N. (2014). Integrated Fuzzy AHP-TOPSIS for Selecting the Best Plastic Recycling Method: A Case Study. *Applied Math. Model*, 1(38), 4662-4672. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.03.007>
528. Von Bertalanffy, L. (1976). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. George Braziller.
529. Von Bertalanffy, L. (1972). The History and Status of General Systems Theory. *Academy of Management Journal*, 15(4), 407-426.
530. Von Forester. (13 de 11 de 1996). *Cibernética de los Sistemas de Observación*. <http://www.univie.ac.at/constructivism/HvF.htm>
531. Von Neumann, J. (1995). *Method in the Physical Sciences*. 6, *Collected Works*, 1(6), 491-498.
532. Wagner, C. S., Roessner, J. D., Bobb, K., Klein, J. T., Boyack, K. W., Keyton, J., & Borner, K. (2011). Approaches to Understanding and Measuring Interdisciplinary Scientific Research (IDR): A review of Literature. *Journal of Informatics*, 5(1), 14-26.
533. Walker, B., Carpenter, S., Anderies, J., Cumming, G., Janssen, M., & Pritchard, R. (2002). Resilience Management in Social-Ecological Systems: A Working Hypothesis for a Participatory Approach. *Conservation Ecology*, 6(1), 14.
534. Wallerstein, I. (2006). *Análisis de Sistemas-Mundo. Una introducción*. Siglo XXI Editores.

535. Wallerstein, I. (2007). Geopolítica y Geo cultura: Ensayos Sobre el Moderno Sistema Mundial. Kairos.
536. Watts, D. (2003). Six Degrees: The Science of a Connected Age. W. W.Norton & Company.
537. Watts, D. (2011). Everything is Obvious: Once you Know the Answer. Crown Business.
538. Web Stories. (30 de 06 de 2019). The Decision to Write: The Quark and the Jaguar. <https://www.webofstories.com/play/murray.gell-mann/190>
539. Weick, K. (1995). Sensemaking in Organizations. SAGE Publications.
540. Weiner, N. (2014). Biografía de Norbert Weiner. http://www.dma.eui.upm.es/historia_informatica/Doc/Personajes/NorbertWiener.htm
541. Wellman, B. (2001). Computer Networks as Social Networks. *Science*,1(293), 2031-34.
542. Werbos, P.J. (1975). Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences. MIT.
543. West, G. B., Brown, J. H., & Enquist, B. J. (2001). A General Model for Ontogenetic Growth. *Nature*, 413(6856), 628-631.
544. Wikipedia. (17 de 10 de 2018). Autómata Celular. https://es.wikipedia.org/wiki/Aut%C3%B3mata_celular
545. Wikipendia. (26 de 06 de 2019e). Stuart Kauffman. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Visualization_of_two_dimensions_of_a_NK_fitness_landscape.png
546. Wikipendia. (20 de 05 de 2016). SQL. <https://es.wikipedia.org/wiki/SQL>
547. Wikipendia. (23 de 05 de 2016a). Big Data. https://es.wikipedia.org/wiki/Big_data
548. Wikipendia. (25 de 10 de 2018). Head Funds: https://es.wikipedia.org/wiki/Fondo_de_cobertura
549. Wikipendia. (15 de 06 de 2018). Diagramas de Feynman: https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Feynman
550. Wikipendia. (11 de 10 de 2018). Gregory Bateson: https://es.wikipedia.org/wiki/Gregory_Bateson

551. Wikipendia. (26 de 06 de 2019d). Problema del Viajante. https://es.wikipedia.org/wiki/Problema_del_viajante
552. Wikipendia. (30 de 06 de 2019h). Quark Model. https://en.wikipedia.org/wiki/Quark_model
553. Wikipendia six. (2015). Sis Grades of Separation. El experimento: 2015
554. Wikipendia.org. (15 de 10 de 2018). Sistema Multiagente: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_multiagente
555. Wikipendia.org. (10 de 10 de 2018). https://en.wikipedia.org/wiki/Anatol_Rapoport. Antol Rapoport: https://en.wikipedia.org/wiki/Anatol_Rapoport
556. Wikipendia.org. (04 de 02 de 2019). Los Seis Grados de Separación: https://es.wikipedia.org/wiki/Seis_grados_de_separaci%C3%B3n
557. Wikiquote. (30 de 06 de 2019). The Quark and the Jaguar. https://es.wikiquote.org/wiki/El_quark_y_el_jaguar
558. Wimsatt, W. C. (1994). The Ontology of Complex Systems: Levels of Organization, Perspectives, and Causal Thickets. *Canadian Journal of Philosophy*, 24(sup 1), 207-274.
559. Wimsatt, W. C., & Wimsatt, W. K. (2007). *Re-engineering Philosophy for Limited Beings: Piecewise Approximations to Reality*. Harvard University Press.
560. Wolfram, S. (2015). A New Kind of Science. <http://www.wolframscience.com/nksonline/toc.html>.
561. Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley & Sons Ltd.
562. Wordpres.(23 de 10 de 2020).Caos: <https://magaligiavedoniimd.files.wordpress.com/2014/09/il-caos-03-1000.jpg>
563. Wordreferences.com. (2015). input: <http://www.wordreference.com/definition/input>
564. Wordreferences.com.(2015).Output <http://www.wordreference.com/es/en/frames.aspx?es=output>
565. Worldmapper. (2015). The New World Mapper. <http://www.worldmapper.org/display.php?selected=291>

566. Xataka Ciencia. (2 de 03 de 2012). ¿Qué son los Fractales y como Se Construyen? <https://www.xatakaciencia.com/matematicas/que-son-los-fractales-y-como-se-construyen>
567. Xiang, X., Kennedy, L., Maiden, G., & Cabaniss, S. (2005). Verification and Validation Of Agent-Based Scientific Simulation Models. Proceedings of Agent-Directed Simulation Conference.
568. Yanes, J. (30 de 09 de 2019). Open Mind BBVA. El top 10 de los Supercomputadores, los Nuevos Gigantes Científicos. <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/el-top-10-de-los-supercomputadores-los-nuevos-gigantes-cientificos/>
569. Yanlai, Z., Shenglian, G., & Chong, Y. (2015). Integrated Optimal Allocation Model for Complex Adaptive System of Water Resources Management (II): A Case Study. *Journal of Hydrology*, 531(3), 977-991. 10.1016/j.jhydrol.2015.10.043
570. Yibada. (24 de 11 de 2016). Robots as Caretakers, Companion: China's Elderly Homes to Use Robots in Future Support Services: <http://en.yibada.com/articles/175112/20161124/robots-caretakers-companion-chinas-elderly-homes-use-robots-future-support-services.htm>
571. Ying, D. (2011). Scientific Collaboration and Endorsement. Network Analysis of Coauthorship and Citation Networks. *Journal of Informatics*, 187-203.
572. York University. (17 de 10 de 2012). Practicum in Statistical Consulting. http://scs.math.yorku.ca/index.php/MATH_6627_2012-13_Practicum_in_Statistical_Consulting/R_tutorials/vcd_tutorial
573. Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(1921), 339-353.c
574. Zadeh, L. (1975). La Lógica Difusa y Razonamiento Aproximado. *Synthese*, 407-428.
575. Zhang, Y., Zeng, S., Fan, L., & Dang, Y. (2009). Dark Web Forums Portl: Searching and Analyzing Jihadist Forums. *IEEE International Conference on Intelligence and Security*, 71-76. <https://doi.org/10.1109/isi.2009.5137274>
576. Zhang, J., Yin, Z., Chen, P., & Nichele, S. (2020). Emotion Recognition Using Multi-Modal Data and Machine Learning Techniques: A Tutorial and Review. *Information Fusion* (59), 103-126. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.01.011>

577. Zhang, R., Li, T., Lin, L., & Wei, Y. (2022). The Evidence Behind Robot-Assisted Abdominopelvic Surgery. *Annals of Internal Medicine*, 17(3), W22. <https://doi.org/10.7326/L21-0781>
578. Zhang, X. (2004). Metaheurísticas con Técnicas de Búsqueda Local para la Optimización del Espacio en los Estantes del Comercio Minorista. *Ciencias de la Gestión*, 50(1), 117-131.
579. Zhang, Y., Sugisaka, M., & Xu, C. (1999). A New Look at Metabolism-Repair Systems a Living System on Screen. *Artificial Life and Robotics*, 1(3), 225-229.
580. Zyga, L. (17 de 2 de 2009). Physics Organic. Greedy Routing Enables Network Navigation Without a 'Map':<http://phys.org/news/2009-02-greedy-routing-enables-network.html>

Este libro ofrece un recorrido panorámico fresco, bien documentado e ilustrado profusamente sobre los conceptos que se han ido creando en la Teoría de la Complejidad en los últimos 100 años. Parte de la definición de los conceptos básicos para caracterizar un sistema complejo, así como la forma en que mutan los sistemas simples, a complicados y estos a su vez a complejos y caóticos. El texto ofrece un mapa de conceptos fundamentales de los 7 tributarios que alimentan el caudaloso río de los Sistemas Complejos. Dicho mapa es la guía resumida de los temas que debe dominar un especialista en el campo. Inicia con la Teoría de Sistemas Clásicos y va adentrado al lector en la Teoría de los Sistemas Dinámicos, la Teoría del Caos, la Cibernética, la Vida Artificial, la Lógica Difusa, la Robótica y la Nanotecnología. Ilustra con ejemplos, todas las disciplinas que han enriquecido a la Ciencia de la Complejidad. En donde más se detiene y profundiza es en la Teoría de Redes Complejas donde el autor ha desarrollado la mayor parte de su investigación. Aquí postula un modelo comprensivo para estudiar su estructura y la dinámica de las redes complejas. Se ocupa también, aunque de una manera más somera, de las técnicas de simulación aparecidas en los últimos 50 años entre ellas: la Modelación Basada en Agentes, los Autómatas Celulares, los Algoritmos Genéticos, la Modelación Multi Agente, la Minería de Datos, el Modelo Computacional. Describe así mismo, los avances de la Inteligencia Artificial y las Redes Neuronales. El autor no olvida mencionar a los centros líderes en el mundo tales como el Instituto Santa Fe, la Universidad de Michigan, el Centro de Estudios Complejos de Paris y New England Complex Systems Institute (Boston). Y los centros mexicanos entre los que destacan el C3 UNAM y la Red de Expertos en Sistemas Complejos del IPN. Asumiendo que los lectores podrían estar interesados en viajar y prepararse más a estos centros líderes del saber complejo. Finalmente, el autor se ocupa en describir y confrontar a las dos grandes perspectivas epistemológicas en Sistemas Complejos (Empirismo y Racionalismo) y propone el Modelo Epistemológico LART de Sistemas Complejos.

Estamos ante un libro científico que navega en las aguas procelosas del conocimiento de la ciencia de vanguardia, deteniéndose en el muy conocido puerto en los sistemas simples, los sistemas complicados, los sistemas caóticos, atracando en el muy desconocido puerto de los sistemas complejos que el autor define como *Sistemas en el Limite del Caos*.

+Lectura
GRATIS
en la nube



 **tirant
humanidades**
plural