

Algo Más de CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

2020



ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Universidad Bicentenaria de Aragua

Publicación correspondiente a la serie de libros y revistas arbitradas del Fondo Editorial de la Universidad Bicentenaria de Aragua (FE-UBA)

SERIE NODO ITC
Volumen 1 No 3 – Agosto 2020

COMITÉ EDITORIAL

Germán López (USC, Colombia)
Crisálida Villegas G (UBA, Venezuela)
Arturo Dávila (Univeris, Ecuador)
Alicia Uzcátegui (UPEL, Venezuela)
Eugenia Repreza (Universidad Católica, El Salvador)
Yesenia Centeno (NODO ITC, Venezuela)
Rosa B. Pérez (UNA, Venezuela)

PORTADA

Waleska Perdomo

DIAGRAMACIÓN

Rosy C. León de V
Nohelia Alfonzo

COMPILACIÓN Y FORMATO ELECTRÓNICO

Rosy Carolina León de Valero

Fecha de Aceptación: Marzo, 2020

Fecha de Publicación: Julio, 2020

Se permite la reproducción total o parcial de los trabajos publicados, siempre que se indique expresamente la fuente

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

© UNIVERSIDAD BICENTENARIA DE ARAGUA
Depósito Legal: pp200293AR289
ISBN: 1690-3064
Reservados todos los derechos conforme a la Ley



AUTORIDADES

Basilio Sánchez Aranguren

Rector

José Domingo Mora

Vicerrector Académico

Gustavo Sánchez

Vicerrector Administrativo

Edilia Papa

Secretaria

Serie NODO ITC, Volumen 1 Número 3, Año 2020
San Joaquín de Turmero- Universidad Bicentenario de Aragua

Es una publicación correspondiente a la serie de libros arbitrados del Fondo Editorial de la Universidad Bicentenario de Aragua (FE-UBA) en convenio con la Red de Investigadores de la Transcomplejidad (REDIT). Tiene como propósito divulgar los avances de estudios, casos o experiencias de interés para el desarrollo de la investigación universitaria y el pensamiento transcomplejo; producto de la actividad de los miembros del Nodo ITC (Investigación, Transcomplejidad y Ciencia) de la Red Internacional InComplex. Es una publicación arbitrada por el sistema doble ciego, el cual asegura la confidencialidad del proceso, al mantener en reserva la identidad de los árbitros.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

ÍNDICE

	Prólogo. Alicia Uzcátegui	pp. <u>5</u>
	Presentación. Rosy Carolina León de Valero	<u>11</u>
I	Teoría del caos. Mary Díaz	<u>14</u>
II	Algoritmos evolutivos. María Teresa Hernández	<u>30</u>
III	Ciencias de las redes complejas. Crisálida Villegas	<u>43</u>
IV	Contexto de la vida artificial ¿Cómo la vida surge de la no-vida? Yesenia Centeno y Claudia Zuriaga	<u>57</u>
V	La robótica como expansión tecnológica de lo cognoscible bajo la perspectiva transcompleja de la sociedad. Andrés Scott Peña	<u>79</u>
VI	Computación suave y emergencia de sistemas híbridos. Omaira Golcheidt	<u>107</u>
	Referencias	<u>124</u>

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

PRÓLOGO

¹Alicia Uzcátegui

Enhorabuena nos volvemos a encontrar en lo que nos entusiasma la lectura, la investigación y la escritura, enrumbarnos en el origen del conocimiento, de la innovación, para ir de cara a las nuevas, retadoras y quizás contradictorias sendas que conducen a la luz que invita a sumergirnos en áreas que fueron nuestra especialidad por mucho tiempo, nuestra zona de confort.

No obstante, ahora en pleno siglo XXI, los autores de las temáticas que se muestran en este libro, producto de su curiosidad; intentaron profundizar en otros tópicos que los acerca al estudio de una realidad desde diferentes perspectivas. Por cuanto que hoy día, ya no es posible observarla con suficiente claridad por el prisma que enmarca la tradición y por la existencia de una amalgama de enfoques que desde diversas racionalidades se le pueden imputar a cualquier objeto en estudio, donde no basta solo con tener una superespecialización en un área determinada sino que se demanda emprender el viaje hacia lo inesperado, lo imaginario, lo espiritual, lo ilógico, lo estético, lo precipitado y lo ético.

En el equipaje para tal travesía se amerita disponer de un ajuar que contenga: actitud crítica y reflexiva, batería de argumentos teóricos, atrevimiento metodológico, resistencia a las irrupciones de lo racional; tal como está hazaña que emprendieron los investigadores que en este texto exhiben sus obras;

¹Postdoctora en Investigación e Investigación Transcompleja y en Educación Latinoamericana y Caribeña. Doctora en Ciencias de la Educación. Magister en Ciencias de la Educación. Especialista en Gerencia Educativa y en Planificación y Evaluación de la Educación. Profesora de Biología

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

decididos a brindar sus contribuciones en lo que se ha denominado ciencias de la complejidad; señalada por estos como el resultado de una creación que quizás no fue siempre consciente y deliberada; donde se hace énfasis en la habilidad para observar relaciones que antes no se habían observado; además de estudiar cómo se procuran estas relaciones.

Ante tal reto surge el interés por irrumpir en un mundo aislado que será necesario explorar en cuanto a las relaciones enmarcadas en la autorregulación, la no linealidad, las turbulencias, las fluctuaciones, la inestabilidad, la incertidumbre, donde es oportuna la contribución de profesionales en diferentes áreas del conocimiento con toda su carga de emotividad, sentidos y sentimientos para enfocarse en mirar desde diferentes ángulos el objeto de estudio; dicho interés se centra en lograr el conocimiento entre el orden y el desorden.

Con el propósito de lograr tal acción la inspiración se vistió de gala para producir y entregar a la comunidad académica este extraordinario libro que lleva por título: ***Algo más de Ciencias de la Complejidad*** donde los lectores podrán sumergirse en un succulento convite académico que parte desde lo que hoy se ha denominado la teoría del caos, y que a muchos de quienes se alejan de las racionalidades tradicionales les ha llamado al figoneo al demandar ¿cómo desde esta teoría se puede fortalecer la investigación en tiempos de cambios permanentes?, lo que se expone magistralmente en este texto afirmando que la teoría del caos debe ser considerada por encontrarse siempre presente en la naturaleza, el universo, la sociedad y ejercer una atracción que ha dado lugar a

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

que emerja lo que algunos consideran como una de las principales invenciones que ha evolucionado en la historia del pensamiento complejo. Investigadores señalan que el caos ha pasado de una teoría a un método y también a una forma de hacer ciencia.

Inmersos en aguas profundas se adicionan los algoritmos evolutivos ante los cuales preguntamos ¿cuáles son los aportes de los algoritmos evolutivos para alcanzar soluciones de alta calidad?, la respuesta a esta interrogante y otros aportes relevantes se plasman en este texto que los describe, alegando que simbolizan estrategias de optimización y búsqueda de soluciones que tienen como inspiración la evolución en distintos sistemas biológicos y que, además, por su fácil aplicabilidad son utilizados en los ámbitos militar y civil; así como en la industria especialmente en computación, en el marketing, las matemática y en la vida cotidiana.

En este viaje hacia terrenos desconocidos por mucho tiempo y no considerados llama la atención las inquietudes en el orden civilizatorio, de allí que en este recorrido emergen las ciencias de las redes complejas con sus múltiples aplicaciones que se concentran en la descripción y análisis de sus propiedades, la investigación de su modelado y sus dinámicas; así como el establecimiento de nuevas técnicas de visualización. Por ello definen en este texto a la ciencia de las redes complejas como un área de investigación transdisciplinaria emergente orientada al desarrollo de teorías y técnicas para aumentar el conocimiento

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

existente tanto de las redes biológicas o tecnológicas como de las académicas y, en general de los sistemas complejos.

En este momento, en cuanto al origen del conocimiento, a la naturaleza del ser y en procura de emprender una nueva visión de la realidad que pueda ser observada con diferentes prismas; es preciso asumir que existe una trama y un urdimbre que soporta toda realidad ante la cual el investigador se apodera de herramientas que deberá ponderar para su uso con la firme intención de lograr ese acercamiento al objeto de estudio con ojos de águila y manos de cirujano; al encontrarse en una red que lo impregna para dejarlo quizás con más incertidumbre, dudas y expectativas que con una postura determinista. Ante tal privación se discurre entre lo real y lo irreal, lo lógico y lo ilógico.

Otra mirada apunta a cómo la vida surge de la no vida indicándose en el texto que un ser vivo representa su existencia en la autopoiesis, entendida como un tipo de organización-sistema cuyos componentes están dinámicamente relacionados en una red continua de interacciones y que además es capaz de producir y reproducir por sí mismo los elementos que lo constituyen. Destacando que, la vida real es una forma de organización de la materia, a la razón, la vida artificial está referida a una vida (objetos y fenómenos) construida por el hombre, que simula o sintetiza esta forma especial de organización de la materia y exhiben comportamientos característicos semejantes a los seres y sistemas vivos naturales.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Es tal el valor de este libro que en su afán por realizar aportes pertinentes a la realidad social actual, se desarrolla la robótica como expansión tecnológica que va más allá de lo estudiado hasta hoy al sumergirse en la transcomplejidad. Así como en la innovación tecnológica del diseño y construcción de robots, autómatas o androides que imitan los movimientos de seres vivos, de hecho ya se están utilizando en algunos países para la detección de síntomas relacionados al covid-19; aspecto realmente importante ante la situación de salud actual a nivel mundial y lograr así no exponer al personal de salud al atender a pacientes contagiados.

Con lo presentado en esta temática, se plantean patrones de innovación tecnológica inéditos; se afirma que la robótica se manifestó buscando transversalizar las expresiones de una realidad circundante a través de muchos inventores que con su ingeniosa obra lograron recrear atributos y movimientos de humanos o animales. Dichas invenciones buscan la solución a situaciones de la vida en sociedad; toda esta innovación es expresada en el escrito que constituye este texto brindando al lector información de cómo ha avanzado la ciencia en varias áreas del conocimiento para mejorar la calidad de vida en común e incluso ir más allá hacia la transhumanización donde también se erige la inteligencia artificial, englobando diversas técnicas que se pueden emplear para la resolución de problemas, manejando información incompleta, con incertidumbre o inexacta.

Un apoyo importante para las ciencias de la complejidad también lo representa la computación suave expuesta en este tenor como una mezcla de distintos métodos que de una forma u otra cooperan desde sus fundamentos con

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

el objetivo principal de aprovechar la tolerancia que conllevan la imprecisión y la incertidumbre, para conseguir manejabilidad, robustez y soluciones de bajo costo con mejores visiones de la realidad en estudio.

Finalmente, al hurgar profundamente en el contenido de este libro el lector podrá concluir que para realizar el estudio de una realidad en particular habrá de esmerarse en recoger todos los pertrechos necesarios en cuantas áreas específicas sea posible; amalgamadas en un sistema en movimiento para observar desde diferentes ópticas el objeto de estudio.

PRESENTACIÓN

²Rosy Carolina León de Valero

Las ciencias de la complejidad, surgen con la llegada de la tecnología computacional que gracias a la integración con otras ciencias y la aplicación de diferentes métodos, puede dar respuesta a múltiples necesidades científicas y sociales y de ese modo explicar, entender, comprender, predecir, modelar y transformar fenómenos de diversa naturaleza.

Con la publicación del libro *Algo más de Ciencias de la Complejidad*, se presenta al lector una variedad de temas que se pueden abordar; en este caso, sirviéndose de la sistematización de información documental, los autores desarrollaron sus respectivas temáticas; quedando dividido el libro en siete capítulos, los cuales se describen brevemente a continuación.

El trabajo realizado por Mary Díaz, autora del primer capítulo denominado *La teoría del caos: una de las ciencias de la complejidad*, admite que el caos complejiza la manera de ver la realidad de un fenómeno determinado y lo asume como un modelo para generar conocimientos científicos.

Por su parte, María Teresa Hernández, autora del capítulo dos titulado *Algoritmos evolutivos*, deja claro que a pesar de ser una postura inspirada en la genética darwiniana, aplica sistemáticamente un conjunto de reglas complejas en

² Postdoctora en Investigación Transcompleja; Doctora en Ciencias de la Educación; Magister y Especialista en Gerencia Mención Sistemas Educativos; Licenciada en Educación Mención Geografía y Ciencias de la Tierra. Investigadora PEII "A2". Miembro de la REDIT, Miembro del NODO ITC; Escritora de libros y Artículos Académicos. <https://rosycarolina.wixsite.com/misitio>; rosycarolina@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8834-3195>

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

procura de resoluciones a múltiples problemas presentes en la cotidianidad del ser humano ofreciendo diversas formas de abordaje.

Seguidamente Crisálida Villegas, autora del capítulo tres, trata sobre las **Ciencias de las redes complejas**, que siendo una ciencia basada en la teoría de los grafos, se consolida como una herramienta que busca conocer los “sistemas naturales y sociales o redes reales”; por tanto, las investigaciones realizadas bajo esta connotación, están encaminadas a profundizar sobre dos aspectos: el “comportamiento en colectivo de la estructura topológica y el mecanismo evolutivo generador de la estructura que determina su dinámica”; por lo que desde una mirada transcompleja, ambas estructuras se complementan desde: lo teórico, las tendencias paradigmáticas y las dimensiones metódicas que con sus respectivas técnicas sirve para el abordaje de variados fenómenos.

El capítulo cuatro es desarrollado por Yesenia Centeno y Claudia Zuriaga, quien expone el **Contexto de la vida artificial ¿Cómo la vida surge de la no-vida?**, su intención es describir el proceso de complementariedad entre la computación, la biología y la ingeniería las cuales interactúan entre sí para ofrecer servicios en el control de riesgos en entrenamientos que sobre salud, aportan a la sociedad en cuanto a vida artificial se refiere.

El siguiente autor es Andrés Scott Peña, quien aborda el capítulo cinco titulado **La robótica como expansión tecnológica de lo cognoscible bajo la perspectiva transcompleja de la sociedad**, tema con el que confirma la

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

importancia de la robótica en escenarios como la educación, la cultura, el deporte, la política, la economía, entre otros, factores propios de la vida en la sociedad.

Le sigue Omaira Golcheidt, autora del último capítulo denominado ***Computación suave y emergencia de sistemas híbridos***, en el que hace referencia a la importancia de la inteligencia artificial en el mejoramiento para la toma de decisiones en cuanto al empleo de los sistemas híbridos o computacionales como estrategias para ahondar en el conocimiento sobre razonamiento aproximado y con incertidumbre en la solución de problemas que afectan a la sociedad.

Esperemos pues, que estos capítulos llenen las expectativas del lector, toda vez que son parte de los infinitos temas que pueden escribirse al respecto de las ciencias de la complejidad; a la vez que los instamos a seguir consultando nuestras obras y por qué no, a que visiten nuestro sitio web <https://nodoitcve.wixsite.com/misitio> en procura de ofertar sus producciones.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

I. TEORÍA DEL CAOS: PRIMERA DE LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

³Mary Díaz

Las ciencias de la complejidad son aquellas que estudian, esencialmente los sistemas complejos, es decir, los sistemas abiertos, no lineales, autoorganizados y alejados del equilibrio. Es oportuno acotar que, todas las ciencias de la complejidad, nacieron de las llamadas ciencias básicas como la matemática, la física, la estadística, entre otras, luego, con el transcurrir del tiempo, así como, debido al surgimiento de los distintos paradigmas científicos, encontraron cabida en las ciencias y disciplinas humanas y sociales. En este sentido Maldonado y Gómez (2010) afirman que:

Las ciencias de la complejidad representan una auténtica revolución en el conocimiento, al mejor estilo de las revoluciones científicas estudiadas por T. Kuhn... Se trata de un grupo de ciencias –que por tanto contienen numerosas teorías, una diversidad de modelos explicativos, una gama amplia de conceptos, en fin, una pluralidad de métodos y lógicas– cuyo tema de base es, para decirlo en términos genéricos: ¿Por qué las cosas son o se vuelven complejas? ¿Qué es, al fin y al cabo, “complejidad”? (p. 12).

De acuerdo a lo anterior, las ciencias de la complejidad son ciencias de cúspide que se encuentran en la mira de la sociedad del conocimiento y del mundo académico. Estas ciencias, además de ser una respuesta a las ciencias tradicionales, y a su enfoque cerrado e inductivo, también, conforman un mundo

³ Doctorante en Ciencias Administrativas. Magister en Administración de Empresas, Mención Finanzas. Especialista en Sistemas. Licenciada en Contaduría Pública. Docente (UPTA FBF). Docente de postgrado UC La Morita. Investigador en Ciencias Sociales UC. mariluzdiazbrice@gmail.com

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

de posibilidades de desarrollo científico y epistemológico. Martínez (2018), citando a Rodríguez y Aguirre (2011) afirma:

La complejidad constituye una perspectiva novedosa y marginal en la ciencia contemporánea; su carácter de novedad radica en que el estudio de la complejidad implica, en buena medida, un quiebre o discontinuidad en la historia de la ciencia o, más precisamente dicho, en la racionalidad científica occidental. (p. 208).

Ahora bien, las ciencias de la complejidad están conformadas por la Termodinámica del no Equilibrio, la Teoría del Caos, la Teoría de Catástrofes, la Geometría Fractal, Lógicas no Clásicas, y las Redes Complejas. Siendo la teoría del caos un campo de estudio fundamental dentro de las ciencias de la complejidad porque desde principios de los años 60 es un paradigma, que ha supuesto importantes y profundos cambios en el estudio de diversos fenómenos. Con el caos, se consagra la idea de la no linealidad en la ciencia y, en general, se establece la dificultad de predecir la evolución de determinados sistemas.

Origen, desarrollo y fundamentos

La teoría del caos, tuvo su origen a principios del siglo XX, en los tiempos en que los físicos pensaban que ya no quedaba mucho por descubrir dentro de su área de estudio. De acuerdo a Coppo (2010) eran únicamente tres las interrogantes que quedaban por explicar: la primera corresponde a la explicación de la órbita irregular del planeta mercurio, la segunda es la discrepancia entre la teoría y la cantidad de energía que libera un agujero negro y la tercera el efecto de un tercer cuerpo en el movimiento de otros dos.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Entonces, a raíz que los científicos intentaban dar con estas explicaciones, comenzaron a emerger varias teorías: del primer problema surgió la teoría de la relatividad, del segundo la teoría cuántica y del tercero la teoría del caos.

Gallegos (2005), describe que el sustento del caos como una nueva ciencia se le atribuye al matemático, físico y filósofo francés Henri Poincaré, porque a finales del siglo XIX explicó los sistemas dinámicos característicos del mundo no lineal a partir del planteamiento matemático de las ecuaciones diferenciales no lineales, a su vez este científico aseveró que el caos es la esencia de un sistema no lineal.

Por su parte Coppo (2010) señala que Maxwell fue precursor del electromagnetismo y una de las primeras personas en entender lo que hoy se denomina caos determinístico al reconocer la importancia de los sistemas que dependen de las condiciones iniciales.

Cazau (1995), afirma que en el año 1908, el matemático francés Henri Poincaré había estudiado los sistemas matemáticos no lineales, que representan un importante antecedente histórico y conceptual de la teoría del caos. Este matemático realizó diversas investigaciones obteniendo la conclusión que no es posible predecir con precisión la evolución futura de algunos sistemas, porque las condiciones iniciales sólo se conocen de manera aproximada, situación que provoca perturbaciones que no se pueden predecir en su comportamiento.

De acuerdo a Fernández (2016), Henry Adams también investigó sobre el caos y la dispersión de la energía, desarrollando los aforismos, cuando el orden es

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

el sueño del hombre, entonces el caos es la ley de la naturaleza y mientras el orden crea hábito, el caos con frecuencia crea la vida.

Prigogine (1985) plantea que el mundo no sigue estrictamente el modelo del reloj previsible y determinado, sino que tiene aspectos caóticos; este caos no es inducido por el investigador, sino que el caos en el mundo existe de por sí, un ejemplo claro es el cambio en el clima. Prigogine, fue un físico ruso, estudió el azar, el caos, la incertidumbre, desde una visión que negaba toda concepción determinista del universo.

Cabe señalar que, en el año de 1977 Prigogine recibió el Premio Nobel de Química por su teoría termodinámica (entropía) de sistemas alejados del equilibrio. Al otorgarle un papel protagónico al azar, estableció la imposibilidad de tener certezas absolutas. Explicó que en el mundo hay una creación simultánea de orden y desorden (teoría del caos o de los sistemas dinámicos no lineales).

Barzanallana (2016), indica que Edward Lorenz, fue un meteorólogo norteamericano que planteó los conceptos del efecto mariposa y atractor extraño. Sus ideas lograron el comienzo de un nuevo campo de estudio que afectó no solo a las matemáticas, sino a todo los campos de las ciencias biológicas, físicas y sociales. En el área de meteorología, llegó a la conclusión de que puede ser fundamentalmente imposible hacer predicciones más allá de dos o tres semanas con un grado razonable de exactitud.

En este mismo orden de ideas, Coppo (2010), indica que el investigador James Yorke, nacido en el año de 1941, aplicó el hallazgo de Lorenz diseñando

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

una ecuación logística de evolución de una población silvestre, demostrando que sistemas sencillos tienen la capacidad de resultar aspectos complejos, principio que luego se aplicó a la genética, economía, dinámica de fluidos, epidemiología y fisiología.

Continuando con los precursores de la teoría del caos, se puede mencionar que, Mandelbrot estudió la evolución mundial de los precios del algodón en una serie de tiempo en el año de 1963, a lo largo de la investigación encontró una estructura regular; lo mismo sucedió con las rentas. Para explicar estos fenómenos inventó el término fractal, definido como autosemejanza de irregularidades a diferentes escalas. Ventura (2019), señala que Mandelbrot es un matemático que nació en el año de 1929, polaco nacionalizado francés y estadounidense, que se dedicó a explorar una base matemática simple para las formas irregulares del mundo real ya que le parecía perverso que los matemáticos hubieran pasado años observando formas idealizadas como líneas rectas o círculos perfectos.

Agaoglu y Timón (2018), exponen que durante la década de 1970, el físico Mitchell Feigenbaum, quien nació en el año de 1948, demostró la existencia de una constante que emerge en un tipo de funciones matemáticas. Este pionero de la materia, también se dedicó a la aplicación del caos en la percepción y realizó el siguiente planteamiento de acuerdo a Coppo (2010:160), “para entender cómo la mente entresaca algo del caos de la percepción, hay que entender de qué manera el desorden produce universalidad”.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Coppo (2010), afirma que Robert Shaw, durante sus investigaciones reveló la relación que existe entre el caos, los atractores, y la teoría de la información fundada en la entropía, postulando que el caos es la creación de la información (sin caos no hay sorpresa, y por ende no hay información). Igualmente el investigador Raymond Ideker, quien nació en el año 1983, realizó aplicaciones de la teoría del caos para llevar a cabo las predicciones exitosas de las alteraciones del ritmo cardíaco (fibrilación, disrritmias, y muerte súbita infantil).

Colle (1998), menciona que Arnold Mandell descubrió el comportamiento caótico en actividades enzimáticas del cerebro y postuló que los sistemas periódicos (ciclos estables) son monótonos (vacíos de información, poco adaptativos), en tanto que los sistemas biológicos son de tipo fractal, con amplia banda de frecuencias, muy flexibles y adaptables. Los trabajos de Mandell se dirigen a reconocer que el funcionamiento de la mente también tiene una estructura fractal tanto en su base fisiológica como en la estructura semántica.

Otro precursor de la teoría del caos, fue Tom Ray, quien nació, en el año de 1989, ha realizado estudios basados en las técnicas de matemática caótica, creó el primer programa computacional de vida artificial (simulación biológica), en el cual a partir de reglas de mutación se verificó la evolución de predadores, la aparición de parásitos e incluso extinciones completas y resurgencias.

Lacasta (2013), destaca que Joseph Ford es un científico del Georgia Institute of Technology, quien nació en el año 1990, a su vez, postuló que la evolución es caos con realimentación. El universo se compone de azar y

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

disipación; el azar llega a producir una complejidad asombrosa y la disipación es un agente del orden.

El sustento del caos como una nueva ciencia corresponde a Poincaré, matemático, físico y filósofo francés, a partir del planteamiento efectuado a fines del siglo XIX sobre las ecuaciones diferenciales no lineales. Expuso los sistemas dinámicos característicos del mundo no lineal. Poincaré reveló que el caos o el potencial para el caos es la esencia de un sistema no lineal, más aún, un sistema completamente determinado como los planetas en órbita podían tener resultados indeterminados. De cierta forma, había visto que la realimentación podía magnificar los efectos más pequeños, y advirtió que un sistema simple podía estallar en una perturbadora complejidad.

También, se reconoce al químico Prigogine (1985) como el principal representante de la teoría del caos, plantea que el mundo no sigue estrictamente el modelo del reloj, previsible y determinado, sino que tiene aspectos caóticos; que no lo provoca el observador, sino que el caos en el mundo existe de por sí, un ejemplo claro es la variación en el clima. De hecho, se cambian los conceptos principales de espacio, tiempo, materia, objeto, causa y efecto.

Es por ello, que cada vez más, se comienza a dar crédito a las ideas que afirman la existencia del caos, del desorden y la complejidad, como un desafío para el pensamiento científico y estimula a descubrir las regularidades de lo irregular, las determinaciones de lo indeterminado, el orden subyacente en el desorden aparente. Ahora bien, el planteamiento central de esta nueva

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

concepción, expresa que el desorden, la turbulencia, lo imprevisible, lo inesperado la desorganización y la posterior autoorganización son aspectos constitutivos de la realidad que la investigación tiene que abordar y desentrañar.

De acuerdo a López (2002) citado por Gallegos (2005) el caos está presente en el universo, la naturaleza y la sociedad y ejerce una fascinación que ha hecho posible el surgimiento de lo que algunos consideran como una de las principales invenciones que ha evolucionado en la historia del pensamiento. En este sentido, es necesario, establecer una comparación entre el enfoque tradicional y el enfoque del caos, para comprender mejor su impacto y alcance.

Tabla 1
Comparación entre el enfoque tradicional y del caos

Enfoque tradicional	Enfoque del caos
Es posible predecir el comportamiento de cualquier estado futuro del sistema a través de una ecuación simple causa-efecto	No hay proporcionalidad en la relación causa-efecto. El futuro es incierto y el sistema reacciona de manera impredecible.
El todo es la suma de las partes.	El todo complejo está hecho de infinitas iteraciones de un patrón simple que es repetido en escalas diferentes.
El caos es sinónimo de desorden y puede evitarse controlando el sistema todo lo que sea posible.	Hay una relación estrecha entre el caos y el orden, tanto que uno conduce al otro siguiendo un proceso dinámico.
El sistema no cambia de manera repentina, si lo hace se debe a algún error que no ha sido bien controlad	Una pequeña perturbación puede causar repentinamente cambios explosivos dentro del sistema.
Un elemento no puede pertenecer al mismo tiempo a un conjunto y a su complemento.	La relación entre los elementos y los conjuntos no es solo sí o no, es un asunto de más o menos.

Fuente: Salazar (2017), a partir de Lissak (1996) en Dolan y Col (2003).

Caos determinista

En primera instancia es preciso aclarar la diferencia entre la palabra caos en el lenguaje coloquial, y el término ciencias del caos. La primera significa desorden, donde se carece de estructura, sin embargo, al hablar de ciencia de caos hace

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

referencia a caos determinista, es decir, a un comportamiento complejo e imprescindible, el cual emerge de ecuaciones y algoritmos estrictamente definidos matemáticamente. Pidal (2009) explica:

El caos se define usualmente en la lengua española como una condición o situación de gran desorden y confusión. Científicamente, la palabra caos está asociada en el campo de la física matemática a estados aperiódicos, de comportamiento no predecible que aparecen en algunos sistemas dinámicos con extremada sensibilidad a la variación en condiciones iniciales (p. 30).

En este sentido “caos” no significa decir desorden. Se aclara que, existe un orden, pero no como generalmente lo comprendemos. Las fuentes de donde se alimenta la teoría del caos son variadas y de múltiples disciplinas, dentro de las que se pueden enumerar: matemáticas, física, química, ingeniería, medicina y biología; es por ello que se afirma que la teoría del caos está elaborada a la medida del ser humano: un paradigma que trata con el comportamiento complejo y los sistemas interactivos.

De acuerdo a Masterpasqua y Phyllis (1997) citado por Luévano (2004) el caos es la impredecibilidad y evolución irregular de la actuación de numerosos sistemas no lineales. Al ser sensibles a las condiciones iniciales, el error en una predicción del estado futuro de estos sistemas crece grandemente con el transcurrir del tiempo, haciendo que ese estado futuro del sistema se convierta y cambie fundamentalmente en algo desconocido en un corto tiempo. Gleick (1987) citado por García (1993) brinda una serie de definiciones correspondiente al caos; que se visualizan en la siguiente tabla.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Tabla Nº 2
Definiciones de caos

Autor	Definición de Caos
Holmes (1979)	Orbitas atractoras complicadas y aperiódicas, de ciertos sistemas dinámicos (usualmente de baja dimensión).
Ford (1983)	Dinámica liberada al fin de los grilletos del orden y de la predecibilidad. Sistemas liberados para explorar aleatoriamente cada una de sus posibilidades dinámicas. Variedad exótica, riqueza de elección, una cornucopia de oportunidad.
Crutchfield (1986)	Dinámica con entropía métrica positiva, pero finita. Comportamiento que produce información (amplifica pequeñas incertidumbres), pero que no es completamente impredecible.
Roderick citado por Gleick (1987)	Comportamiento aparentemente recurrente y aleatorio en un sistema determinístico (tipo reloj) simple. El comportamiento irregular e impredecible de sistemas dinámicos no lineales determinísticos.
Bai-Lin (1988)	Cierto tipo de orden sin periodicidad. Campo de estudio de rápida expansión al cual matemáticos, Físicos, hidrodinamicistas, ecologistas y muchos otros han hecho importantes contribuciones

Fuente: Díaz (2020).

Es decir, el caos y los sistemas caóticos no son específicamente desorden en el sentido literal y popular como lo indica la palabra; hablar de los sistemas no lineales es hacer referencia a que los mismos son sistemas irregulares, altamente impredecibles, que se muestran en muchos ámbitos de la vida y la naturaleza, pero que no se puede decir que tengan comportamientos sin ley, debido a que existen reglas que determinan su comportamiento, aunque las mismas sean difíciles de conocer en muchas oportunidades. Lo que sí, es que son sistemas muy sensibles a las condiciones iniciales, como se va a describir más adelante.

López (2002) citado por Gallegos (2005) menciona que el caos se encuentra presente en la naturaleza, el universo, la sociedad y ejerce una atracción que ha dado lugar a que emerja lo que algunos consideran como una de las principales invenciones que ha evolucionado en la historia del pensamiento complejo.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Se puede visualizar el caos como la ciencia de la naturaleza integral de los sistemas. Defiende el comportamiento universal de lo complicado. El caos ha pasado de una teoría a un método y también a una forma de hacer ciencia. Reiterándose que caos no significa inestabilidad; en este sentido, un sistema caótico se comporta estable si un tipo particular de irregularidad persistiera frente a pequeñas perturbaciones, teniendo en consideración la dependencia sensitiva de las condiciones iniciales.

Caos como nueva ciencia

La teoría del caos es definida como la rama de la física, la matemática, la biología, la meteorología, la economía, entre otras ciencias, que estudia diversos tipos de sistemas complejos y sistemas dinámicos no lineales muy sensibles a las variaciones y cambios en las condiciones iniciales. Los ligeros cambios en dichas condiciones iniciales pueden conllevar a gigantes diferencias en el comportamiento futuro, impidiendo la predicción a largo plazo. Esto ocurre a pesar que estos sistemas son deterministas, es decir; su comportamiento puede ser plenamente determinado conociendo sus condiciones iniciales.

Esta teoría se encarga de señalar que tanto la naturaleza como el universo en general no siguen un modelo predecible. Es por ello, que su planteamiento, es un paradigma que significó una revolución científica, expresando que muchos sistemas no eran tan útiles como se pensaba a la hora de predecir eventos futuros. En la tabla 3, se puede apreciar distintas definiciones de la teoría del caos de acuerdo a diversos autores.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Tabla 3
Acepciones de la teoría del caos

Autor	Teoría del Caos
Cambel (1993)	Estudia la sensibilidad a condiciones iniciales de algunos sistemas, es decir, de aquellos sistemas en los que un pequeño cambio, puede generar grandes consecuencias. Matemáticamente, estos cambios siguen una dinámica no lineal
Ferrari (2003).	Es la ciencia del proceso, el intento del conocimiento, de lo que va a suceder, no de lo que es o de lo que permanecerá. Con esta lo desconocido se interpreta desde un punto de vista global, que se ve afectado en el tiempo. Hablar de caos es hablar de procesos irreversibles, es decir de procesos que dejan huella en el tiempo. Hablar del caos, es asimismo, considerar que desde estados de desorden se llega a estados de orden
Coppo (2010).	La teoría del caos puede ser definida como el estudio de la conducta aperiódica en sistemas determinísticos no lineales. Un sistema determinístico no lineal consiste en elementos que tienen influencias no lineales entre sí.

Fuente: Elaborado con base a Martínez (2018).

Algunas de las características que presenta un sistema caótico, de acuerdo a Pidal (2009) son:

Dependencia sensitiva de condiciones iniciales, consiste en que una mínima perturbación o una pequeña variación en las condiciones de hoy ocasiona un grande efecto en el futuro, lo que conlleva que sean poco observables y difíciles de predecir; es por ello que en ocasiones se confunde con un comportamiento aleatorio.

No linealidad, hace referencia a que las causas y los efectos de los eventos que produce el sistema no son proporcionales.

Complejidad, las reglas complicadas que no siempre pueden ser entendidas a través de sus partes individuales.

Entropía positiva, señala el grado de desorden; que sea positiva indica la tendencia al desorden del sistema.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Atractor extraño, se refiere al equilibrio al que tiende el proceso, es estable. Sin embargo, nunca reacciona igual, es decir no hace la misma cosa dos veces ni al mismo ritmo, por lo tanto parece inestable.

Tomando en cuenta las características señaladas en las líneas anteriores, a pesar que su patrón de comportamiento está establecido y definido, se describe por su complejidad y por ser muy dificultoso observar y predecir. Por otro lado el atractor extraño es significativo debido a que hace que el caos pueda determinarse en algunos aspectos, aunque aparente ser imprevisible.

De acuerdo a, Madrigal et al (2017) la teoría del caos se caracteriza por la sensibilidad a las condiciones iniciales, la impredecibilidad, la bifurcación, atractores extraños y auto organización. En el determinismo el termino caos se afilia directamente con el desorden absoluto, pero, la teoría del caos afirma que existe dentro de ese desorden reglas y condiciones que hacen que un fenómeno de caos presente siempre un orden, reglas básicas, entonces, de no ser así no existiría situaciones caóticas.

La bifurcación, como su nombre lo señala es el momento en el cual ante una situación determinada se presentan dos o más alternativas, que de acuerdo a la teoría del caos difícilmente se podrá tener solamente una opción.

Los atractores extraños, es un concepto desarrollado por Lorenz, retomando de Borjón (2002), definiéndolo como la región de espacio de fases que atrae hacia sí a un sistema, con las características de que los puntos nunca se repiten y las órbitas nunca se interceptan.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

La autoorganización, de acuerdo a Battram (1998) citado por Madrigal et al (2017) hace referencia a que en un proceso administrativo de una organización el comportamiento complejo no requiere una explicación compleja, porque el orden surgirá de la autoorganización.

Investigación, complejidad y caos

La teoría de caos se robustece cada día y se ha adentrado en distintas áreas y ambientes de la investigación, como la económica, la biología, la matemática, la física, entre otros campos de saberes. Apuntando a dar una nueva visión a la explicación de eventos en ambientes dinámicos y turbulentos, apartándose cada vez más la visión mecanicista que ha predominado en los modelos de investigación.

La ciencia no se puede aislar de las condiciones culturales, como tampoco de los procesos socios históricos, políticos, económicos e ideológicos. Las manifestaciones científicas y culturales ligadas a los conceptos que han surgido están involucradas en circuitos recursivos, en interacciones no lineales dentro de la ciencia y la cultura misma. En este sentido, sostiene Prigogine (1998) que la ciencia ha llegado a su fin, es decir, ya no es posible seguir sosteniendo los procesos de producción científica aislados de sus contextos y reducidos a visiones fragmentarias.

Igualmente, Schnitman (1998) plantea que la ciencia, los procesos culturales y la subjetividad humana están socialmente contruidos, recursivamente interconectados, constituyendo un sistema abierto. Entonces, de estas interfaces,

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

de sus descentramientos y conflictos se originan configuraciones científico-culturales complejas que constituyen y describen el espíritu que atraviesa un período. Estas configuraciones transversales son multidimensionales, presentan polarizaciones antinómicas y densidades diversas

Ahora bien, cualquier situación problemática planteada, sea del campo que sea, necesita de la gama de todos los conocimientos disponibles. Este conjunto unido de saberes constituye antes que un problema de saberes una articulación compleja. Afrontar la investigación desde el punto de vista de la complejidad y el caos conlleva a empaparse en los intersticios de los saberes y reconocer el desafío de la incertidumbre de su conclusión. La idea de conflicto que guía al investigador en la búsqueda de una comprensión de los fenómenos tiene implícita la asunción de la dificultad, el peligro y el camino del pensamiento de lo caótico y lo complejo.

En este sentido, la complejidad y el caos, han sido también imaginadas como las plataformas epistémicas plasmadas con una nueva identidad de pensamiento, que han comenzado a gestarse a raíz de las producciones teóricas existentes y que paulatinamente van penetrando y repercutiendo en varias disciplinas de forma concreta y consistente

Para finalizar, es preciso destacar que con el surgimiento de la teoría de caos se ha producido un cambio de paradigma en la filosofía de la ciencia, abriendo la posibilidad de encontrar el orden en el desorden. Suplantando al reduccionismo, el caos determinístico instaló un enfoque complejo, multicausal y

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

multidimensional que involucra una realidad como un todo mayor a la suma de sus partes, donde pequeños hechos pueden afectar el comportamiento y la evolución de la naturaleza. Más que una teoría, el caos se ha convertido en un método, un modelo, una forma de generar conocimientos científicos en el área de los sistemas complejos.

II. ALGORITMOS EVOLUTIVOS

⁴María Teresa Hernández

En el mundo real existe una serie de problemas de difícil solución por su complejidad, pero interesantes, como para poder solventar mediante la resolución de problemas convencionales y comprobar de manera eficiente la validez de una posible solución. En ese sentido, la búsqueda de soluciones a un problema determinado, invita a reflexionar y considerar el razonamiento y el análisis, como formas que permiten optimizar funciones complejas que carecen de métodos para la resolución del problema, siguiendo ligeramente un número finito de pasos antes de llegar a la solución, coexistiendo para ello los algoritmos evolutivos como los más adecuados para solventar tales problemas.

Una analogía para automatizar el proceso de razonamiento y llegar a soluciones con diferentes entradas posibles, se encuentra en los algoritmos evolutivos, concebidos desde la percepción de Holland (1989) como el procedimiento y secuencia de instrucciones que conduce a la solución de un problema hasta resolverlo. El consenso general revela que los algoritmos evolutivos, son uno de los caminos para llegar a la solución, especialmente útil para resolver problemas de tipo técnico, en el que se establecen métodos de optimización y búsqueda de soluciones basados en postulados de evolución biológica.

⁴ Postdoctora en Investigación, Doctora en Ciencias de la Educación. Magister Scientiarum en Ciencias de la Educación. Especialista en Planificación y Evaluación. Profesora de Educación Inicial y en Orientación. Docente Universitaria. Investigadora PEII A3.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

En ese sentido, vale mencionar a los biólogos, quienes continuamente para resolver los casos de estudio y encontrar nuevos enfoques en su área utilizan métodos, modelos y técnicas matemáticas y física, localizando concentraciones, abundancias de individuos, cinéticas enzimáticas, coeficientes e índices de todo tipo, pero el procedimiento que sigue para resolver un problema típico, es generalmente un camino único, mediante una sucesión de pasos o instrucciones que conducen hasta la solución. En problemas con espacios pequeños, habitualmente es suficiente usar métodos clásicos de búsqueda extensos y no lineales, pero cuando son espacios grandes, se deben emplear técnicas especiales como son los algoritmos evolutivos para encontrar soluciones en un tiempo razonable.

A la luz de esas premisas, se pone de manifiesto, la necesidad de asumir nuevos paradigmas reconociendo la existencia de una pluralidad de algoritmos evolutivos para obtener soluciones de alta calidad que hacen pensar en modificar el paradigma de pensamiento para resolver problemas, enfrentar dificultades del momento y las que sobrevendrán, cuyas consecuencias pueden ser previstas y evaluadas favoreciendo el alcance de un equilibrio táctico entre factores para resolver exitosamente problemas planteados en áreas relacionadas con los números y en otros ámbitos en los cuales se utilice estructuración de datos.

Definición y origen

Los algoritmos evolutivos (AE) son diseñados para la solución de problemas, inspirados en la genética y en los principios establecidos por Darwin (1859) en su

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

obra Origen de las Especies, Darwin On Line (2009), referido a la evolución de las especies en el mundo biológico y en el desarrollo de la informática evolutiva. Se conciben como una serie de instrucciones sencillas que se llevan a cabo para solventar un problema y se utiliza para mejorar iterativamente la calidad de las soluciones, permiten abordar problemas complejos que surgen en las ingenierías y los campos científicos.

De acuerdo con Peña (2006:23) los algoritmos evolutivos constituyen un “Conjunto de reglas que aplicadas sistemáticamente a unos datos de entrada apropiados, que resuelven un problema en un número finito de pasos elementales”. Según Peña (2006:26), autor a la sazón del libro De Euclides a Java, en la historia de los algoritmos y de los lenguajes de programación, “el algoritmo posee un espacio finito y ejecuta las instrucciones de manera sistemática, es decir, que es ciego ante lo que está haciendo y los pasos con los que opera son elementales” Por tanto, los AE están indicados para resolver todo tipo de problemas que puedan ser expresados en forma de problema de optimización de una o varias funciones sujetas a un número variable de restricciones y a una o más restricciones de contorno.

Los elementos de ese espacio de búsqueda son cadenas finitas de símbolos, representan un individuo que codifica una posible solución al problema. Usualmente, la estructura de información de los individuos es de longitud fija y el tamaño de la población es invariable. Para obtener buenos resultados con los algoritmos es preciso estar al tanto en el más mínimo detalle, ya que en un

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

algoritmo evolutivo hay que elegir múltiples componentes y parámetros, de los que va a depender la calidad del resultado y la eficiencia del algoritmo.

Los algoritmos existen desde mucho antes de que aparecieran máquinas capaces de ejecutarlos de forma automática, pero a partir de un momento en la historia los algoritmos han acompañado a la humanidad. Los algoritmos evolutivos tienen sus orígenes en las décadas entre 1950 y 1960. En la década de 1950, investigadores indican que los algoritmos evolutivos pueden venir en muchas formas. Fraser (1960) en Canberra, Australia, experimentaron con diferentes medios para simular la recombinación sexual entre múltiples soluciones para estudiar sistemas genéticos. Unos de los primeros experimentos realizados en la computadora de Neumann en Princeton involucraron lo que ahora se llama vida artificial (Fraser, 1970).

Según Backus (1977) citando a Barricelli en (1953-1954) escribió un programa para la máquina de Neumann que simulaba un entorno, separado por celdas en una cuadrícula, los números que ocupaba cada celda migraban a las celdas vecinas según un conjunto de reglas. Ese evento interesó Barricelli (1953-1954) a estudiar las propiedades emergentes que surgirían de tal simulación, cuando dos números colisionaron en la misma celda, compitieron por la supervivencia, descubriendo que, inclusive con reglas muy simples para propagarse por todo el entorno, ciertos patrones numéricos evolucionarían y solo podrían persistir cuando otros patrones también estuvieran presentes.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

En la década de los sesenta, se ofrecieron otras formas de recombinación, incluida la sugerencia de Fogel (2007) aparear máquinas de estados finitos como predictores para entornos futuros en la generación inteligencia artificial. Las primeras contribuciones adicionales a los algoritmos evolutivos incluyeron métodos de optimización y búsqueda de soluciones basados en distintos paradigmas que originaron distintas motivaciones algoritmos referidos a mecanismos de otros campos de estudio.

Por ejemplo, el trabajo de Friedman (1956) referida a la robótica evolutiva , Pegden y otros (1995), a simulación de la evolución para la productividad de la planta industrial, Friedberg (1958) sobre programas informáticos en evolución, Schwefel, 1981) acerca de dispositivos físicos en evolución, Kaufman (1967) sobre sistemas matemáticos en evolución, Conrad, relacionado con ecosistemas simulados (1969), Holland (1962) sobre modelando sistemas adaptativos, Burgin sobre soluciones en evolución para juegos (1969) citado en Von Neumann (1959) y muchos otros.

En ese contexto, los algoritmos evolutivos exhiben una estructura aplicable a distintos problemas, favoreciendo considerablemente las tareas de diseño e implementación utilizando formas que ofrecen una posible solución, en el que se realizan principalmente, procesos de cruce y mutación, junto con un proceso de selección, cuyo requisito imprescindible es saber aplicar la técnica para resolver el problema en concreto y saber programar el lenguaje en el que se codificaría el algoritmo evolutivo.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Técnicas evolutivas

Dentro del mundo de los algoritmos, ha surgido una amplia variedad de técnicas evolutivas que han sido exitosamente utilizadas por diferentes grupos de investigadores, basado fundamentalmente en tres enfoques desarrollados de manera independiente, coexistiendo los algoritmos más empleados según Mori y Yamada (2007) los Algoritmos Genéticos (AG), Programación Evolutiva (PE) y Programación Genética (PG), se han perfilado como aptos para su aplicación en



diferentes problemas bajo investigación en la última década debido a su alta capacidad de búsqueda y fácil adaptabilidad, por sus características, ya que permiten implementar funciones

complejas, teniendo la capacidad de acoplarse a la búsqueda en espacios de solución complejos.

Algoritmos Genéticos. Esta gran familia de algoritmos evolutivos está compuesta por distintos métodos de búsqueda que incluyen las estrategias de programación genética, consiste en la evolución automática de ser programada, utilizando ideas fundamentadas en la selección natural, busca que poblaciones de programas evolucionen transmitiendo su herencia de manera que se adapten al medio, los individuos tengan mayores probabilidades de reproducirse, la medida de la calidad del individuo dependerá del tipo de problema. Es una estructura de datos que representa una de las posibles soluciones del espacio de búsqueda del

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

problema y son usados fundamentalmente en la optimización de problemas combinatorios.

La programación evolutiva se basa en la optimización de funciones y es una abstracción de la evolución al nivel de las especies, en la que los individuos según Fogel (2007:43) “son representados como un conjunto de valores que representan un autómata” por lo que no se requiere el uso de un operador de recombinación (diferentes especies no se pueden cruzar entre sí), son métodos computacionales, que trabajan con una población de individuos y pertenecen al dominio de los números reales, que mediante las estrategias evolutivas trabajan los procesos de mutación y de recombinación evolucionan para alcanzar el óptimo de la función objetivo.

La programación genética (PG) es utilizada para inducir programas de ordenador de un modo automático, constituye un caso particular de Algoritmos Genéticos (AG) cuya diferencia principal entre AG y PG, es la representación de las soluciones. Su autor Koza (1992:23), señalaba que “cada individuo es un programa de ordenador que es objeto de la evolución por parte del algoritmo”. La representación más usada en este caso, es la de árbol de expresiones, se basa en la existencia de una gramática libre de contexto que define las sentencias válidas del lenguaje. Al trabajar directamente con los árboles y las reglas necesarias para evaluarlos, no es necesario hacer referencia al lenguaje libre de contexto.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

En la programación genética, los algoritmos simples se basan en principios básicos de la evolución, donde los mejores individuos tienen una mayor probabilidad de reproducirse y sobrevivir que otros individuos menos adaptados al entorno. Para implementar ese principio, Sánchez (2004) expresa que para comprobar los resultados del algoritmo de optimización hay que diseñar un modelo que sea fiable, especificar una medida de la calidad del programa codificado en la resolución del problema planteado y diseñar técnicas heurísticas que usen dominio específico y funcionan mejor que los algoritmos de propósito general. Sin embargo, se puede implementar de forma iterativa haciendo uso de una o más fuentes para ir operando con la representación de datos.



Áreas de aplicación

Los algoritmos evolutivos constituyen una potente herramienta en optimización de formas, que dado su relativa sencillez en relación con otros métodos algorítmicos, para adaptarse a los problemas de optimización multi-objetivo, han sido aplicados a problemas en muchas áreas, por su facilidad de uso y capacidad.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Para Siarry y Michalewicz (2008) existen procedimientos iterativos que combinando de manera inteligente distintos conceptos para explorar y explotar adecuadamente el espacio de búsqueda asociado a problemas presentes,



proporcionan soluciones aceptables en un tiempo razonable que necesariamente no son óptimas, pero que siguen paradigmas bien diferenciados citados como referentes clásicos respondientes a referentes históricos consolidados, y en los cuales se incluye los algoritmos evolutivos, entre otros métodos.

Los algoritmos evolutivos simbolizan estrategias de optimización y búsqueda de soluciones que tienen como inspiración la evolución en distintos sistemas biológicos. Todo lo que se hace y lo que se encuentra a nuestro alrededor ha sido construido mediante un algoritmo y debido a su alta aplicabilidad en la resolución de problemas reales, los algoritmos evolutivos han tenido una adopción muy rápida tanto en la industria como en el ámbito civil o militar y actualmente, se han implementado aplicaciones exitosas desde las matemáticas, la computación y el marketing incluyendo en la vida cotidiana. La idea fundamental de los algoritmos es mantener un conjunto de individuos que representan una posible solución del problema.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Muchos centros de investigación ofrecen importantes inversiones en sus presupuestos a la aplicación algoritmos evolutivos como técnicas de inteligencia artificial en general y computación evolutiva en particular, perfilándose como una herramienta imprescindible para el trabajo de reingeniería.

Se encuentran ya embebidos en multitud de dispositivos y paquetes comerciales de software, permitiendo aportar una solución de caja negra a muchos problemas, haciendo posible encontrar soluciones realistas y computacionalmente tratables en áreas como la (a) optimización numérica, real o simbólica y (b) programación industrial.

Cada vez existen más profesionales formados y especializados en aplicación y uso de los algoritmos que apuntan la optimización de producción, pronóstico financiero, planificación militar, detección de anomalías, diseño farmacéutico, optimización de dispositivos de diagnóstico y otras señales desarrollo de personajes de videojuegos, modelado de conflictos sociales y una larga lista de otros casos.

El futuro de los algoritmos evolutivos

Los algoritmos representan en la actualidad, un componente tangible y convincente para el futuro de cada negocio, donde casi todas las ideas y decisiones comerciales del futuro están basadas en datos. Sin duda, invertir en algoritmos vale la pena para cualquier organización que quiera escalar rápidamente sus productos y servicios, dado que los algoritmos son más objetivos,

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

escalables y flexibles que los seres humanos, eso lo hace crítico para las organizaciones comprometidas con impulsar el crecimiento exponencial.

Para garantizar que la organización no se quede atrás, es importante comprender cómo los diferentes tipos de algoritmos pueden ayudar a aprovechar los datos que la organización recopila de acuerdo con su naturaleza o giro, en el entendido, que un algoritmo se aprecia como un conjunto prescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite llevar a cabo una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba realizar dicha actividad.

Actualmente ha llegado la era del algoritmo y sus datos son un tesoro. Al respecto, Rubio (2018) explica que los algoritmos se han convertido en el secreto del éxito de muchas grandes compañías: un secreto que les permite canalizar un flujo ingente de información para tomar decisiones fundamentales para su actividad. Los algoritmos no solo tienen la capacidad de explicar la realidad, sino también de anticipar comportamientos, por lo que representa una ventaja para evitar o minimizar riesgos o para aprovechar oportunidades.

Dentro de los actuales usos de los algoritmos evolutivos y su futura expansión, cabe destacar diferentes focos de investigación y su repercusión y como uno de esos focos, se tiene al aprendizaje automatizado, que gracias a un programa específico, es idóneo para mejorar sin conocer el medio o su funcionalidad final, dentro de la problemática que se está probando y perfecciona su funcionamiento hasta el punto que se considere válido.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Actualmente, el desarrollo y los avances que se están obteniendo dentro del ámbito de los algoritmos evolutivos, coexiste una posición muy importante ante la forma de resolver problemas del mundo real que anteriormente no podían ser resueltos por medio de técnicas matemáticas convencionales. En primera instancia, por su profunda aceptación en numerosas áreas de investigación y aplicación; en segundo lugar, debido a que muchas de las aportaciones que se realizan serán extensibles a algunos de los restantes tipos de algoritmos evolutivos y, finalmente, porque la demanda de eficiencia tanto en tiempo real como numérica es, en este ámbito, muy acusada debido a que son muy utilizados.

Una de las trascendentales particularidades que tienen los algoritmos evolutivos es que pueden ser utilizados en numerosos tipos de problemas gracias a que son capaces de adaptarse sin necesidad de conocer el entorno del problema. Como toda innovación, puede criticarse por su sesgo o incompletitud, no obstante, los algoritmos evolutivos incorpora elementos que hace que funcionen correctamente, pero que deben ejecutarse hasta alcanzar soluciones de adecuación conforme, hasta encontrar el nexo entre elementos tan dispares, incorporando un uso cotidiano por parte de la mayoría de usuarios, la resolución de problemas concretos de la vida real y un componente imaginativo e ingenioso.

III. CIENCIA DE LAS REDES COMPLEJAS

⁵Crisálida V. Villegas G.



La ciencia de las redes complejas o de las conexiones se considera la quinta de las ciencias de la complejidad y tiene una importancia fundamental en esta época, donde el mundo en general conforma redes de distintos tipos. Por su parte, las ciencias de la complejidad se conciben según Luengo (2016) como ciencias de la síntesis y para Elizalde (2013) son ciencias de punta y como tal buscan ampliar las fronteras del conocimiento.

⁵ Postdoctora en Ciencias de la Educación, en Educación Latinoamericana y del Caribe, en Investigación e Investigación Transcompleja. Doctora en Ciencias de la Educación. Magister Scientiarum en Andragogía. Profesora de Biología y Química. Docente Universitaria. Investigadora PEII Emérito. Orcid 0000-0002-3433-6595

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Para lograr su propósito privilegian como herramientas de trabajo un conjunto de modelos de simulación, algoritmos y formalismos mediante recursos computacionales e informáticos que permiten la aplicación de sus resultados a problemas concretos. Al respecto, Maldonado (2012) señala que “emplean y, sobre todo, crean, matemáticas altamente sofisticadas, y se refieren o pueden referirse a los sistemas dinámicos no lineales en términos cuantitativos...” (p.14).

En tal sentido, la ciencia de las redes basada en la teoría de los grafos se ha perfilado como una excelente herramienta para intentar conocer la complejidad de los sistemas naturales y sociales o redes reales. Parece que es posible medir computacionalmente algunas características estructurales de las redes, tales como las comunidades que las componen y como es el parecido entre estas. De ahí que existen algoritmos de análisis y modelos que cuantifiquen y expliquen las propiedades de las redes complejas.

Al respecto, Izquierdo (2014) plantea que hay que diferenciar lo que es un sistema o realidad complicada de una compleja; señala como ejemplo que el funcionamiento de un avión o un computador parece complejo, pero no lo son porque pueden ser modelados en forma muy precisa, entonces lo que son es complicados, ya que es relativamente fácil reconocer los patrones que rigen su comportamiento y predecir los resultados dada una condición inicial.

Por el contrario, sistemas como la sostenibilidad del sistema de salud, una guerra o la realidad económica en Venezuela (agregado de quien escribe), en

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

síntesis las sociedades en el mundo son extremadamente complejas. No obstante, con la computación es posible encontrar una estructura subyacente común, una red o un grafo (gráfico de la red) en la gran cantidad de datos digitalizados (Big Data) que se encuentran acerca de múltiples problemas y codificarlos mediante tratamientos informáticos, así como algorítmicos. Para el autor citado:

Desde el nivel microscópico de los átomos al macroscópico de las sociedades, la naturaleza parece ser al final una especie de conjunto discretos que interaccionan unos con otros para formar estructuras más grandes, más complejas (p.3).

En este contexto la complejidad, puede asumirse como un grafo que contiene muchos y diferentes subgrafos, con base a los cuales es posible medirla. Para tal fin habrá que identificarlos primeramente y después comparar su parecido, lo que tiene que ver con el concepto de clustering, detección de comunidades y cliques, entre otros. En tal sentido, el capítulo aspira plantear esta ciencia en un lenguaje claro y amigable que sea entendible a cualquier lector, por lo que se inicia con algunas nociones claves.

Nociones clave

Hay un conjunto de conceptos que tal vez para algunos son de uso cotidiano, no obstante pareció básico definirlos a efecto de garantizar la comprensión del tema. Así los **algoritmos** son considerados métodos computarizados de solución a un problema, mediante una serie de instrucciones definidas, ordenadas y finitas. Son modelos o guías para ordenar procesos.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Por su parte, los **sistemas complejos** son aquellos compuestos de muchas partes o componentes interconectados, es decir con muchas relaciones, que como conjunto, muestran propiedades emergentes, información que emana de esas conexiones y sus dinámicas. Ejemplos de sistemas complejos son el cerebro, las redes sociales, internet y la economía global, entre otros.

Las **redes complejas** están compuestas de muchas partes (nodos), unidas mediante relaciones (enlaces o aristas) o que interactúan de alguna forma y generalmente formando múltiples agrupaciones o islas (clústeres). La red también puede definirse como un grafo a cuyos componentes se les otorga un significado. Se caracterizan por tener una estructura irregular que evoluciona en el tiempo, en una dinámica en la que de manera permanente entran y salen nodos de la red.

Por su parte, los **grafos** es el nombre técnico del gráfico de una red, proporcionan una representación estática de una red, cuyo análisis conduce a la descripción de esta en un momento determinado. Constituyen un conjunto de objetos abstractos, llamados vértices o nodos unidos por enlaces llamados aristas. Los grafos se representan como un conjunto de puntos (vértices) unidos por líneas (aristas). Las aristas o enlace son los vínculos o relaciones.

Los **nodos** o vértices en una red social son las personas o grupos de personas en torno a un objetivo común y las conexiones pueden ser los lazos de amistad. Usualmente, se representan por círculos. Una comunidad podría definirse como un conjunto de nodos que están más densamente conectados entre sí que

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

con el resto de la red. Es de esperar que los nodos que pertenecen a una misma comunidad compartan características comunes.

Las **aristas** o enlaces son los vínculos o relaciones que existen entre dos o más nodos, se representan con líneas. En el caso de redes complejas, los vértices son las variables de interés y las aristas, las relaciones que se establecen entre estas.

La teoría de grafos como sistema matemático permite la representación de una red como modelo, que consiste en dos conjuntos de información: un conjunto de nodos y conjunto de relaciones entre pares de nodos. La construcción de grafos es la clave para estudiar y comprender el mundo complejo.

Un **clique** es un subgrafo en el que todos los nodos tienen un vértice entre sí, se trata de un grafo completo. Por definición parece razonable pensar que en los cliques como una buena base para detectar comunidades. A la vez un nodo puede pertenecer a más de un clique y por tanto, ser miembro de más de una comunidad, dando lugar a un solapamiento de la estructura de la comunidad.

Los **clúster** son una concentración de nodos cercanos, que compiten y cooperan a la vez, cuentan con diversas estructuras asociativas. Por ende, el índice de agrupamiento o **clustering** de un vértice de un grafo, cuantifica que tanto está agrupado o interconectado con su vecino.

Hacia una definición de las ciencias de las redes complejas

De acuerdo a lo planteado, la ciencia de las redes complejas según Argibay (2013) tiene como finalidad evaluar la estructura, el comportamiento y la evolución

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

de sistemas complejos. Estudia en forma sistémica los componentes elementales de la red, sus interacciones, las propiedades emergentes, los patrones geométricos de las redes y fundamentalmente aspectos relevantes de la conectividad. El abordaje de las ciencias de las redes complejas debe ser transdisciplinario, ya que a través del lenguaje de las redes convergen diversos expertos.

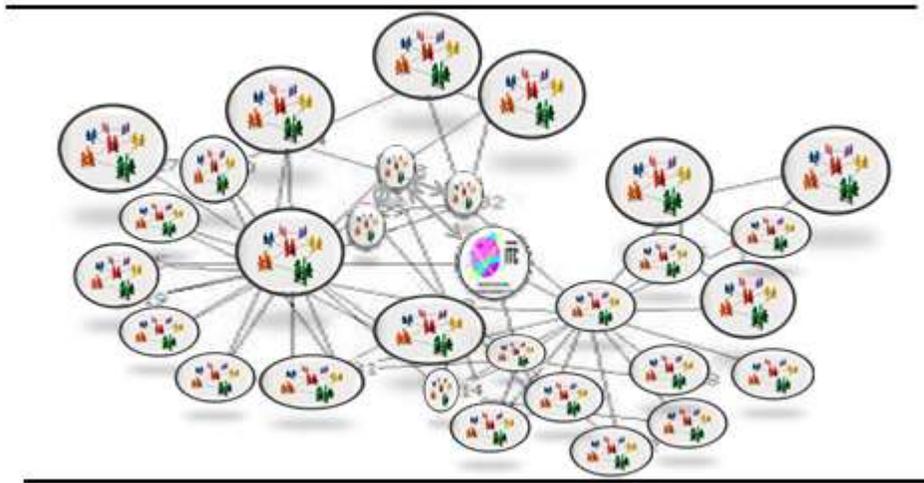
La ciencia de las redes es de esta manera el estudio transdisciplinario de todo tipo de redes, a través del contraste, la comparación e integración de técnicas y algoritmos, desarrollados en disciplinas como la matemática, la estadística, la física, la biología, la medicina, la sociología y sin lugar a dudas las ciencias de la información y la computación. Las técnicas estadísticas y la graficación son fundamentales en el análisis de las redes. Borner y col (2007) definen a la ciencia de las redes complejas como un área de investigación transdisciplinaria emergente orientada al desarrollo de teorías y técnicas para aumentar el conocimiento existente tanto de las redes biológicas o tecnológicas como de las académicas y, en general, de los sistemas complejos.

Desde este punto de vista, de acuerdo a Elizalde (2013) la característica fundamental de la ciencia de las redes complejas es el hecho de que varios modelos, teorías y ciencias que antes tenían un cuerpo propio, quedan integradas en el estudio de las redes complejas. Para ello se valen de nodos (links), clústers y hubs (sistemas de clústers). Uno de sus objetivos fundamentales es construir modelos que reproduzcan fielmente las propiedades de las redes complejas que

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

se observan en los sistemas complejos reales. Un ejemplo de red se muestra en la figura 1, a continuación.

Figura 1
Representación del Nodo ITC



Fuente: Elaboración propia (Villegas, 2020)

Origen y desarrollo

Los primeros estudios de redes se remontan a la teoría de los grafos planteada por Leonhard Euler (1736) al resolver un problema combinatorio haciendo uso de las propiedades estructurales de los grafos. Es así una rama de la matemática discreta que comenzó a desarrollarse en el siglo XVIII.

Posteriormente, Jacob Moreno (1953) plantea el sociograma en el ámbito de la psicología. Es una técnica que consiste en representar gráficamente las relaciones interpersonales en un grupo de individuos mediante un conjunto de puntos conectados por una o varias líneas (las relaciones interindividuales).

Seguidamente, se ubica en los estudios matemáticos de las redes aleatorias realizados por Paul Erdos y Alfred Renyl (1959). Este modelo consiste

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

básicamente en vincular pares de nodos aleatoriamente para formar la red y estudiar la aparición de estructuras microscópicas y macroscópicas para distinta probabilidades de ocurrencia de los vínculos. Las estructuras microscópicas hacer referencia a nodos y vínculos mirados en forma individual. Las macroscópicas a las propiedades de la red como un todo.

El grafo mundo pequeño es una propiedad de las redes, Stanley Milgran (1963) fue el primero en observar y enunciar el concepto de mundo pequeño, utilizado para significar el hecho que dos personas cualesquiera, seleccionadas al azar en un medio dado, están conectadas vía una cadena limitada de intermediarios conocidos.

El origen de esta propiedad de las redes se encuentra en la sociología. Los grafos mundo pequeño ocurren en una gran variedad de redes físicas, biológicas, tecnológicas y sociales. Según Watts (1999) esta propiedad aparece en una zona intermedia entre, por una parte, las redes completamente ordenadas y por otra parte, las redes completamente aleatorias.

Desde la física y la matemática, Derek de Solla Price (1965) estudian las redes libres de escalas. Es un modelo de red compleja que presenta un algoritmo exponencial. Este tipo de red se caracteriza por la existencia de unos nodos altamente conectados denominados hubs que tienden a acumular más rápidamente enlaces y poseen una preferencia a ser enlazados con los nodos más solicitados. Este tipo de red tiene muchos nodos con pocos enlaces, pero también algunos nodos con muchos enlaces.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Según Molina y Rivero (2012) se caracterizan porque tienen la particularidad de que los enlaces que las componen están distribuidos de forma dispareja. Se le denomina libre de escala porque en estos tipos de redes se observa a menudo que un nodo crece (en términos de enlace) proporcionalmente al tamaño que tiene.

En la contemporaneidad, Duncan, Watts; László, Barabasi y Steven, Strogatz (2001, 2003) plantean la ciencia de las redes complejas, desde una perspectiva transdisciplinaria. Posteriormente, Stefano Boccaletti y col (2014) plantean las redes multiplex o multicapas, desde la física social. Es el conjunto de redes reales interrelacionadas y que no se pueden analizar de forma aislada, incorporan diferentes canales de conectividad y describen sistemas que están interconectados con diferentes categorías de conexiones: cada canal es representado por una subred y un mismo nodo puede tener diferentes tipos de interacciones y una vecindad diferente en cada subred. Lo planteado se resume en la figura 2, a continuación.

Figura 2
Origen y desarrollo de las ciencias de las redes complejas

Año	Autor (es)	Postulado	Disciplina
1736	Leonhard Euler	Teoría de los Grafos	Matemáticas y Ciencias de la Computación
1953	Jacob Moreno	Sociograma	Psicología
1959	Paul Erdos Alfred Renyl	Redes Aleatorias	Matemática
1969	Stanley Milgram	Mundos Pequeños	Sociología
1965	Derek Price	Redes sin escala	Física y Matemática
2001-2003	Duncan Watts; László Barabasi y Steven Strogatz	Ciencias de las redes complejas	Transdisciplina

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

2014

Stefano Boccaletti y col

Redes Multiplex

Física Social

Fuente: **Elaboración propia (Villegas, 2020)**

En la actualidad hay tres líneas de investigación en el área de las ciencias de las redes complejas, estas son: (a) propiedades estadísticas de la red que caracterizan su estructura y topología, con autores como Bianconi, Pin y Marsili (2009); (b) modelos de redes que representen y ayuden a comprender el significado de sus propiedades, teniendo entre sus representantes Barrat y col (2004) y (c) análisis de las dinámicas y de los componentes emergentes de las redes, con Nagurney y Qiang (2007).

Aplicación de la ciencia de las redes complejas

La ciencia de las redes complejas tiene múltiples aplicaciones que se centran en la descripción y análisis de sus propiedades, la investigación de su modelado y sus dinámicas; así como el establecimiento de nuevas técnicas de visualización. En tal sentido, las redes complejas de acuerdo a Mulet (2006) poseen una distribución de conectividades que asemeja a una ley de potencia, que son los significados de una distribución. De ahí que el estudio de las redes complejas de acuerdo a Aldana (2006, 2011) puede hacerse en dos campos diferentes y complementarios: estructura o topología y dinámica.

La topología de la red corresponde a la estructura adimensional que toma en cuenta sólo el conexionado entre vértices. Está referida según Aldana (2006,2011) a la distribución de conexiones, coeficiente de agrupamiento, longitud mínima y promedio y componente gigante. Por su parte, la dinámica está referida a la

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

sincronización, transiciones de fase, aprendizaje y procesos difusivos como se muestra en la figura 3, seguidamente.

Figura 3
Estructura y dinámica de las redes complejas



Fuente: Aldana (2006)

En el ámbito de las características topológicas, la distribución de las conexiones es la probabilidad de que un nodo escogido al azar tenga conexiones o vecinos. El coeficiente de agrupamiento es la probabilidad de que dos nodos conectados directamente a un tercer nodo, estén conectados entre sí. La longitud promedio de la red, es el promedio de las longitudes mínimas, entre todas las posibles parejas de nodos de la red. La longitud mínima entre dos nodos, es el número mínimo de brincos que se tiene que dar para llegar de un nodo a otro en la misma red. El componente gigante, de acuerdo a Merlo (2007) es un grupo de nodos enlazados entre sí y que agrupan a la mayoría de los nodos de la red. Es común en casi todas las redes sociales.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Otras medidas relacionadas son la centralidad, es decir la importancia de un nodo en la red: el grado de cercanía (closeness), determina la distancia a los otros nodos de la red; la intermediación (betweenness) y el valor propio, mide la influencia de un nodo en la red. La centralidad de grado mide la importancia de un nodo en la red por su número de conexiones.

En cuanto al campo de la dinámica de las redes complejas: la sincronización significa al mismo tiempo y es el proceso por medio del cual los ritmos individuales de los componentes de un sistema complejo se adaptan a un ritmo común debido a la interacción que existe entre ellos. Según Giron (2014) es uno de los fenómenos que se pueden observar en redes complejas con muchos componentes que interactúan débilmente. Esto provoca un comportamiento colectivo en sistemas que inicialmente tienen un comportamiento individual. El modelo de Kuramoto (1975) es uno de los más importantes en el estudio de este fenómeno.

Las redes libre de escala favorecen la sincronización, debido a la presencia de nodos muy conectados que pueden incorporar nodos al estado sincronizado. Por su parte, muchos sistemas reales están formadas por dos o más redes interconectadas, organizadas en capas, con nodos y links cualitativamente distintos; en cada capa se puede dar la sincronización.

Las redes homogéneas presentan una gran capacidad para sincronizar localmente, lo que conlleva como contrapartida una disminución de la sincronización global. Por el contrario, en el caso de las redes heterogéneas unos

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

pocos nodos (los hubs) influyen fuertemente sobre la dinámica del resto de la red, disminuyendo la capacidad local de sincronización a favor de la global.

La transición de fase, también se puede utilizar para estudiar los comportamientos colectivos desde el punto de vista de la física. Es el punto que separa dos regiones de la red con comportamientos analíticos diferentes de la función de partición (dos fases). Es la transformación que experimenta una red al cambiar de una fase a otra. Por ejemplo en el aula, los estudiantes constituyen de por sí una red heterogénea, que constituyen de forma natural un colectivo, que en un determinado proyecto se organiza en etapas, propiciando el isomorfismo entre contexto; lo cual posibilita la transferencia de aprendizaje y los procesos difusivos en situaciones concretas.

Para seguir buscando

Se ha examinado la ciencia o teoría de las redes complejas y sus potencialidades para analizar sistemas complejos que se presentan en redes. También se han discutido algunas de las características de las redes complejas; así como una aproximación a los conceptos básicos y métodos para describir algunos aspectos de la estructura de la red. En tal sentido, las investigaciones en redes están enfocadas principalmente en dos aspectos: el comportamiento colectivo de la estructura topológica y el mecanismo evolutivo generador de la estructura que determina su dinámica.

De acuerdo a lo estudiado, mediante de los aportes de la ciencia de las redes complejas es posible medir algunas características de la complejidad en los

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

sistemas reales; en tal sentido estos hallazgos son básicos a los efectos de la investigación transcompleja. Esto por cuanto, para quien escribe la vía metodológica más apropiada a esta postura es la complementariedad de teorías, enfoques, métodos y técnicas. En consecuencia, se requiere la complementariedad de información cuantitativa y cualitativa; siendo la vía más expedita para el análisis cuantitativo los aportes de las matemáticas complejas y particularmente de las ciencias de las redes complejas.

IV. CONTEXTO DE LA VIDA ARTIFICIAL ¿Cómo la vida surge de la no-vida?

⁶Yesenia Centeno

⁷Claudia Zuriaga

Partiendo de la pregunta ¿Cómo la vida surge de la no-vida? con la que finaliza el escrito *Vida Artificial y Sistemas Complejos* de Villasmil y Gómez (2012), se inicia el capítulo que tiene como propósito describir la vida artificial desde la génesis, concepción teórica y la utilidad/accionar actual. A través de este viaje exploratorio, se podrá reflexionar en torno al surgimiento de la vida artificial, donde la ciencia ficción cuyo auge comenzó en el siglo XVIII tuvo gran influencia.

La exploración versa primero, revelar el inicio de la concepción de la vida artificial como vida, lo cual permitirá vincular el origen de la vida artificial con la vida natural. Segundo, conocer la concepción teórica que fundamenta la vida artificial, donde se evidencia anidada a las teorías de los sistemas y a la cibernética.

Dada a la creciente manifestación de invenciones referidas a la vida artificial, se presenta por último su utilidad/accionar actual, donde se aprecia que la ciencia ha podido avanzar en el campo de diversas disciplinas. Como son, biología, computación e ingeniería, donde la vida artificial de este modo es posible visibilizar

⁶ Doctorante en Ciencias de la Educación. Docente de Investigación en Pregrado y Postgrado en la Universidad Bicentennial de Aragua-Venezuela. Coordinadora del Nodo ITC Investigadora Social. Miembro de REDIT, yeseniacenteno81@gmail.com

⁷ Doctorante en Ciencias de la Educación. Docente en Pregrado, Postgrado y Coordinadora de la Dirección de Investigación y Postgrado en la Universidad Internacional del Ecuador. Miembro Nodo ITC. venecuazuri@hotmail.com

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

diversas aplicaciones, como también en la salud, alimentación, control de riesgos y en el campo del entretenimiento.

Génesis en la vida artificial

Un ser vivo representa su existencia en la autopoiesis, que para Arnold, Urquiza y Thumala (2011) es un tipo de organización-sistema cuyos componentes están dinámicamente relacionados en una red continua de interacciones. Desde la concepción de Maturana (1973) se caracteriza por la capacidad de producir y reproducir por sí mismo los elementos que lo constituyen. Según Luhmann (1997) es la posibilidad de individualizar un modo específico de operaciones sociales (comunicación) y psíquicos (pensamientos y conciencia) dentro de la unidad. La concepción mayor de vida es la autonomía, significa que puede determinar lo que le es relevante y lo indiferente.

Entonces, desde la concepción autopoietica, la vida real es una forma de organización de la materia. A la razón, la vida artificial está referida a una vida (objetos y fenómenos) construida por el hombre, que simula o sintetiza esta forma especial de organización de la materia y exhiben comportamientos característicos semejantes a los seres y sistemas vivos naturales. La concepción de la vida artificial se inicia según Helmreich (2002) al citar a Ray (1994) biólogo que creó un modelo para computadora de la evolución, denominado tierra

En sus experimentos, Ray(1994) liberó un programa autorreplicante dentro de un caldo primordial de información que había programado y produjo lo que denominó un "ecosistema", en el cual las "poblaciones" de los "organismos digitales" podían evolucionar...extendió las palabras asociadas con "vida" a su "mundo artificial" porque definió la evolución

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

como la historia de la sobrevivencia diferenciada de estructuras de información replicantes...los programas de cómputo que se autorreplican -como los virus en las computadoras- pueden considerarse como nuevas formas de vida. Esta ecuación de códigos de cómputo con códigos genéticos se ha vuelto de sentido común en el mundo de los científicos (p.109).

La vida artificial se define según García (2009) como la biología de la vida posible, donde el hombre trata de recrear y comprender la vida natural; así como de crear nueva vida y con esta, se busca recrear los fenómenos biológicos, no sólo como son, sino también como pudieran ser. Para el autor la creación de vida por el hombre requiere de un estudio de la vida natural y por esta razón, actualmente, la imitación de la naturaleza a través de la inteligencia artificial es posible.

La inteligencia artificial (IA) ha posibilitado la elaboración de sistemas y dispositivos en cierto modo inteligentes y que se comporten de manera inteligente. Empleando: (a) el aprendizaje, adquirir conocimientos y las reglas para la aplicación de la información; (b) razonamiento, se emplear las reglas y conocimientos para alcanzar conclusiones y (c) autocorrección, identificar errores y desechar los conocimientos, conclusiones y formas de actuación.

En cambio, la vida artificial, el aprendizaje, el conocimiento adquiridos desde la inteligencia artificial, no solo lo obtiene para autocorrección sino para tomar conciencia de su autonomía, así comunicarse e interrelacionarse. Para García (2009) la aplicación de diversas técnicas y de las herramientas que ofrece la

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

inteligencia artificial al estudio de la vida, posibilita actualmente una aproximación más adecuada a la realidad biológica.

Helmreich (2002) señala que mientras la inteligencia artificial intentó moldear la mente, la vida artificial espera simular los procesos de vida que dan soporte a la evolución, no sólo moldear formas de la vida existente, sino también, formas de vida hipotéticas, elaborando mapas de la biología de lo posible. Entre las propiedades de la vida que imita la vida artificial se encuentran las reseñadas en el cuadro 1, a continuación:

Cuadro 1
Procesos de la vida imitables desde la vida artificial

<i>Característica</i>	<i>Funcionalidad</i>
Auto-Reproducción Almacenamiento de Información	Cómo hacer para mantener su propia existencia Archiva, organiza y comparte datos, de forma ordenada
Auto-Representación	La manera de comportarse y actuar en formas diseñadas para causar una impresión en otros en determinadas circunstancias
Metabolismo	Conjunto de los cambios que se produce en la transformación de energía en combustible, que necesita continuamente un organismo para funcionar.
Interacción Funcional con el Ambiente	Se refiere a la expresión de un rasgo que resulta de la interacción entre el sistema y el ambiente
Partes Interdependientes	Conjunto de relaciones recíprocas
Estabilidad Bajo Perturbaciones	Estabilidad estructural del caos, soluciones bajo pequeñas modificaciones de las condiciones iniciales.
Habilidad Para Evolucionar	Cambio gradual de manera coordinada.
Teleonomía	Comportamiento con propósito.
Morfogénesis Autónoma	Desarrollando la estructura correspondiente a través de cambios sucesivos, generando crecimiento particular y diferenciación.
Invariancia Reproductiva	Es el sentido de reproducir la información, procesos biológicos son especialmente impredecible.
Altamente Variables	Generan un sentido de entendimiento y son estructurados, imprescindibles, imposible de programar
Entropía	Se dirigen hacia una homogenización o pérdida de energía constante en la interacción interna y con el ambiente.
Disipación Progresiva	Disolución paulatina de la energía hasta llegar al equilibrio.
Equilibrios Puntuados	Dimensiones comportamental y simbólica resultan imprescindibles

Fuente: Centeno y Zuriaga (2020)

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Es interesante y a la vez sorprendente, como la no vida o vida artificial puede ser creada por el hombre, y sobre todo expresa características similares y en algunos casos idénticos en funcionamiento a los procesos de la vida natural. Uno de esos procesos idénticos es el mantenimiento como organismo auto-reproducirse, evolucionar y que interactúa con su entorno de manera funcional. Referente a aquellos procesos que aún imita, que son muy pocos se encuentran la capacidad de estabilizarse ante las perturbaciones que generan los cambios y el equilibrio comportamental.

Algunos reconocen la vida artificial como un programa de investigación; o como una disciplina y otros como ciencia compleja, que es como se asume en este texto. Al respecto, Maldonado y Gómez (2010) señalan que:

El estudio de la vida en general implica de entrada el reconocimiento de que existen dos formas principales de sistemas vivos, así: la vida natural, cuya física es el carbono, y cuya química se basa en la tabla de elementos periódicos y la vida artificial, cuya física es el silicio y cuya química incluye a los algoritmos genéticos. La primera apunta hacia la naturaleza en su sentido primero; la segunda a la naturaleza creada, genéricamente, por el ser humano y en particular por la ciencia, la tecnología y el arte (p.75).

Los sistemas vivos no se encuentran aislados, ambos están constituidos por elementos que hacen posible la vida, los cuáles se basan en una física y química específica. Existe una relación de mimesis respecto a la vida natural con la artificial. De este modo es posible la recreación que se manifiesta a través de la ciencia, la tecnología y el arte. La vida artificial para Villasmil y Gómez (2012) es una ciencia compleja porque:

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

1. Trabaja con sistemas complejos, que sucede desde la entropía que es la conexión entre el desecho natural de la organización de la vida como sistema, en medio de la búsqueda del equilibrio, entre el caos producto del desorden del sistema por los cambios y la entalpía, que es la interacción del sistema con el entorno.

2. Velar por su complejidad, donde la vida no obedece a un patrón simple de relación lineal sino a fenómenos que colectivamente presentan comportamientos genuinos de la vida.

3. Cumple los principios generales de complejidad, tal como se muestra en el cuadro 2 a continuación.

Cuadro 2

Pensamiento de los principios desde las ciencias de la complejidad

<i>Principio</i>	<i>Identificación</i>
El Movimiento	Tiene lugar de manera impredecible y súbita, y que ante todo, es irreversible.
Auto-Organización	Implican el reconocimiento explícito de que no existe una jerarquía, ciertamente, ni rígida ni centralizada, en los fenómenos, en la naturaleza o en el mundo.
Dinámicas	Proceden de abajo hacia arriba, por adaptación y aprendizaje, no de arriba hacia abajo, a partir de normas
Comportamiento	Sus atributos son concomitantes con el entorno en el que se encuentra y con las relaciones, contiguas y mediatas, que tiene con los elementos y partes.
Sistema	Se encuentra en un entramado de relaciones y conexiones que no son posibles, sistemas cerrados o aislados.
Incertidumbre	Se trata del reconocimiento explícito de que el futuro no está nunca dado de antemano
Emergencia	Ante los cambios no existen leyes, y lo mejor que se hace es identificar patrones.
Riesgo	Decidir en condiciones de información parcial o incompleta, consistente y en caos.
Lenguaje	Ser explicados en términos de las lógicas no-clásicas

Fuente: Centeno y Zuriaga (2020)

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

La vida artificial por tener autonomía el movimiento no es predecible, también en la organización del todo participa sus partes en conjunto con la interacción de ellas, donde no existe un grado de importancia mayor o menor. Referido a las dinámicas de acción e interacción no son dirigidas por agentes externos, sino son producto del aprendizaje de organismos artificial y desde su propia concepción de información almacenada, por la adaptación no por las leyes y normas pre-establecidas.

Entre los elementos característicos de la vida artificial están los contenidos en los preceptos de los sistemas abiertos, el intercambio de energía, la información incompleta, el cambio consistente y en caos. Que son expresadas desde las ciencias de la complejidad empleando términos de las lógicas no-clásicas, para ello se requiere la contextualización de definiciones y conceptos creados para su explicación.

Fuentes de la vida artificial

La vida artificial tiene su fundamento en la teoría de sistemas expresada por Ludwig (1986) en su obra “concepción biológica del cosmos, robots, hombres y mentes. Según Agazzi citado por Velilla y col (2002) algunas características fundamentales son: (a) pensar de manera relacional, lo que implica ubicarse en otra manera de comprender diferente a la habitual y (b) todo sistema estar constituido por subsistemas y se halla en interacción con un medio ambiente, o suprasistema.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Entendiendo el sistema como: (a) la unidad resulta de relaciones funcionales internas; (b) no existe concepción con la simple consideración fragmentada de sus partes constituyentes; (c) no es reducible a una simple suma de sus elementos constituyentes y (d) la comprensión del objetivo global sucede en medio de las premisas que muestra el esquema 1, a continuación.



Esquema 1. Concepción del Sistema
Fuente: Centeno y Zuriaga (2020)

Entre las principales características de los sistemas abiertos se encuentran las siguientes:

- Sinergia o totalidad: tienen una identidad propia, como totalidades, dada por su organización.
- Interrelaciones: entre sus elementos o entre éste y su ambiente y significan intercambios de energía, materia o información.
- Equifinalidad o equilibrio fluyente, de llegar a un mismo fin a partir de puntos iniciales distintos.
- Diferenciación, están formados por partes que potencialmente pueden asumir múltiples funciones.
- Neguentropía, tienden a un estado de máxima probabilidad de desorganización.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

- Crecimiento, se caracterizan por transformarse a través de sus intercambios con el entorno.

Su concepción metodológica se presume en el campo interdisciplinario de la cibernética de Wiener (1969), aborda los problemas de la organización y los procesos de control (retroalimentación) y transmisión de informaciones (comunicación) en las máquinas y en los organismos vivos. En esta disciplina confluye lo tecnológico y lo neurofisiológico, que establecieron los principios que hacían más automática una máquina de manera similar a los organismos vivos.

Una máquina automática es la que está controlada por otra máquina. Pero, esos comportamientos automáticos se entienden como procesos de cambio y el objeto de estudio de la cibernética es el cambio. Porque estudia modos de comportamiento, pregunta: ¿qué hace? Donde el según Ashby (1997) el concepto fundamental es el de diferencia, sea

Viendo la cibernética como una analítica del cambio, con el sentido de formalizar las condiciones y leyes generales del cambio, de tal manera que puedan reproducirse en máquinas y en organismos vivos. Donde confluye la geometría, que formaliza la manera como se dan los objetos en el espacio-tiempo, también la electrónica, mecánica neural o económica.

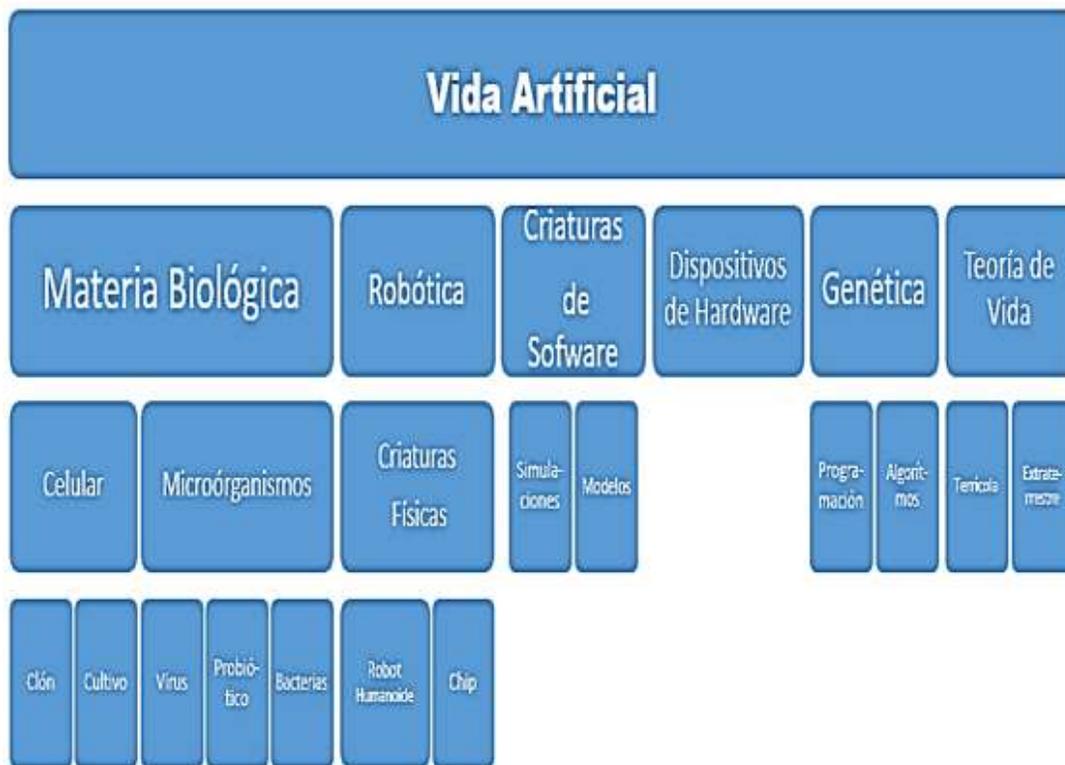
El funcionamiento de la vida artificial requiere una postura complementaria de matices científica, filosófica y tecnológica. Su carácter interdisciplinario, se vincula con las ciencias de la computación, ciencias de la complejidad, ciencias sociales, ciencias de las matemáticas e ingenierías, ciencias cognitivas y, ciencias

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

aplicadas. Donde confluyen disciplinas como: la física, la química, la lógica, la antropología, la sociología, la filosofía, biomatemáticas, la biología teórica, morfología, la etología, la embriología, la teoría de la evolución donde se encuentra la genética y la ecología.

Aplicaciones, campo de acción y utilidad de la vida artificial

Este campo de trabajo incluye tendencias o propuestas diferenciadas por el objeto de estudio y las ciencias de la complejidad de la acción, tal como se muestra en el esquema 2, a continuación.



Esquema 2. Vida Artificial

Fuente: Centeno y Zuriaga (2020)

Por una parte, están las investigaciones que, utilizando materia orgánica, buscan crear objetos vivos, o mejor, criaturas a partir de la manipulación de

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

materia orgánica. Como se muestra en el campo de la medicina regenerativa explican Cartín y Ortiz (2018) desde la ingeniería de tejidos, a nivel celular, dirige una opción viable para la producción de proteína animal in vitro, llamada carne cultivada.

Empleando la biotecnología enfocada en el desarrollo y pluripotenciación de células madre con fines veterinarios y zootécnicos con aplicación en la producción de alimentos. En este sentido, explican los autores que las características organolépticas y fisicoquímicas deseadas para replicar (sabor, color, olor, textura, etc.) de la carne original, se recrea artificialmente en toda su estructura microscópica.

También los niveles mínimos requeridos de nutrientes esenciales son tal vez los pasos más difíciles de obtener en el producto final. Pero ya entre la industria cárnica y el sector científico de países como China, Israel, Holanda y Estados Unidos financian investigaciones para lograr comercializar la carne cultivada a mediano plazo (10 años) a un costo similar a la contraparte producida de forma orgánica.

Los probióticos, explican Bernal, Díaz y Gutiérrez (2017) son microorganismos vivos que confieren un beneficio a la salud, decretados por la Guía de Probióticos y Prebióticos publicada por la Organización Mundial de la Salud y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Los probióticos se han validado para aumentar la respuesta

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

inmune contra las infecciones virales y reestablecer la homeostasis intestinal. La evidencia de numerosos estudios en humanos ha demostrado la eficacia clínica.

Desde el punto de vista del desarrollo tecnológico los probióticos, se obtienen desde procesos fermentativos, es un método biopreservación tradicional considerado una herramienta biotecnológica sencilla, relativamente económica y valiosa. Pero permite la viabilidad durante las operaciones de procesamiento y el almacenamiento, logrando la estabilidad microbiobiológica, fisicoquímica y sensorial del producto para sobrevivir y colonizar en el tracto gastrointestinal, ser tolerantes a un rango de pH corporal y otros elementos.

Las mayorías de especies de género de probióticos provienen de productos lácteos, pero hoy en día se están extrayendo de frutas y verduras. La inclusión de estos ingredientes funcionales (probióticos) contribuye a la desnutrición que actualmente está presente a nivel mundial, sobre todo en países en vía de desarrollo. Para el año 2022 el mercado de probióticos a nivel mundial tiene proyecciones de ventas mayores a US\$ 63 billones.

Hace 21 años, la ciencia logró uno de los hitos más importantes: la clonación. La oveja Dolly fue el primer mamífero clonado, ocurrió en el Instituto Roslin de Edimburgo, en Escocia, de la mano de los científicos Ian Wilmut y Keith Campbell (1999). Su nacimiento es el resultado de una combinación nuclear desde una célula donante diferenciada a un óvulo no fecundado y sin núcleo, de un animal adulto del que se extrajo la célula para su clonación,

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

procedente de la glándula mamaria, esta célula es especializada, a diferencia de una célula embrionaria, que es no especializada.

Dolly ya falleció, pero no ha sido el único animal clonado, actualmente existen otros clones de Dolly que envejecen con normalidad, se utilizan para el estudio de enfermedades en este tipo de animales. El objetivo de estas investigaciones es poder lograr un aumento de la producción animal y no depender de la cría.

Uno de los elementos más conocidos en éste tiempo sobre vida artificial son los virus que según Montagnier (2020), premio nobel de medicina, por encontrar el virus del VIH. Explica el científico que los virus pueden venir escritos en dos alfabetos ligeramente distintos, según su genoma sea de ADN o ARN. Las más esenciales son las que le permiten hacer copias de su propio genoma, las moléculas de ARN viral es siempre mucho menor que las de ADN, concretamente representan las unidades funcionales más diminutas que existen, otra característica es que son complejas y poseen las funciones básicas atribuidas a los seres vivientes como lo son relacionarse y reproducirse.

Los coronavirus (familia Coronaviridae) constituyen uno de los grupos de virus con el genoma de ARN más largo que se conoce. La concepción del médico virólogo según las características que ha estudiado sobre el virus Covid-19, considera que fue creado en laboratorio, mientras se hacía estudios para encontrar cura al VIH, sacado al exterior por un accidente. Ahora sus

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

apreciaciones son refutadas por otros investigadores que consideran que es de origen natural.

Desde la vida artificial se presentan trabajos con robótica, con criaturas físicas artificiales, que no sólo poseen inteligencia artificial para la interacción con humanos. Sino también empleando el conocimiento aprendido desde la interacción, establecen propias conversaciones originales, manteniendo conductas autónomas de socialización.

Según Thunberg y Ziemke (2020) los robots humanoides expresan interacción humano-robot en espacios públicos como bibliotecas y trenes, como es el caso de los robots humanoides Pepper y Nao, expresa una investigación de la Universidad de Linköping. Los resultados arrojados de interacción, varía de 50 en Nao y 70% en Pepper, el primero es menos amable según los participantes humanos en el estudio.

La compañía Hanson Robotics (2020) se encuentra trabajando en el proyecto de una versión mejorada de Sophia de 2013 de David Hanson, donde pueda llorar y emocionarse, esperan lograr una inteligencia artificial fuerte y sostenible para el beneficio de todas las personas, y se vuelva más sabia en el proceso. Estos estudios han servido como plataformas para la investigación científica, el arte, la educación y hoy primera robot del mundo con ciudadanía reconocida otorgada por Arabia Saudita.

Reporta el Diario Semana (2017) que la robot humanoide Diosa, creada por la Universidad de Ciencia y Tecnología de China, liderado por Chen Xiaoping, con

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

su asombroso realismo, luce como una mujer oriental muy atractiva, de facciones delicadas, educada, elegante y de mucho carisma, con avanzadas técnicas de ingeniería cibernética, en el futuro lograrán que aprenda a reír, llorar y expresiones faciales de reconocimiento.

En la entrevista de Rodella (2019) en la primera prueba de Harmony la muñeca sexual creada por RealDoll en 2017, registra que su cabeza está dotada de una especie de cerebro artificial. A través de una app conectada con su sistema central, es posible también ajustar distintos aspectos de su personalidad y expresar emociones. También le permite ir almacenando datos de las conversaciones que mantiene y hasta empezar una conversación por su cuenta. Este 2020 ya está siendo comercializada para al público en general.

Comenta Álvarez (2020) sobre Erica robot humanoide creada entre las universidades de Osaka y Kyoto, por el científico Hiroshi Ishiguro, que cuando fue presentada en sociedad en 2018 su comportamiento asombró. Hoy protagonizará una película, con presupuesto de 70 millones de dólares que se espera finalice grabaciones en el 2021. Como no tiene experiencias de vida para actuar, se programó para simular emociones, hablar a través de sus sentimientos y entrenar el desarrollo del personaje y el lenguaje corporal.

Raya (2019) habla sobre los implantes inteligentes reporta que científicos de la Universidad de Bath en Inglaterra, en colaboración con miembros de las universidades de Bristol, Zúrich y Auckland, ha desarrollado las primeras neuronas artificiales en un chip de silicio, el primer paso de estos implantes es suplantar

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

funciones cerebrales así luchar contra enfermedades. Lo realmente innovador de este estudio es que se comportan igual que las personas reales; cumplen las mismas funciones que las células nerviosas de las ratas de laboratorio, respondiendo de la misma manera a las señales eléctricas que reciben.

Las neuronas artificiales sólo necesitan 140 nanovatios de energía, la milmillonésima parte de lo que necesita un microprocesador actual. Esto lo convierte en uno de los chips más eficientes fabricados hasta ahora. Los investigadores ya están desarrollando una posible aplicación: unos marcapasos inteligentes, que no solo estimulan el funcionamiento del corazón, sino que son capaces de reaccionar en tiempo real.

En el campo de la vida artificial utilizando ciencias de la computación, se ha creado dispositivos de hardware; simulaciones computacionales, aprovechando los avances en la construcción de artefactos o herramientas de software, criaturas de software, modelos de computación y algoritmos. Como el que está desarrollando la Universidad de Tecnología y Diseño de Singapur (2020) titulado monitoreo predictivo de COVID-19, basándose en modelos avanzados de inteligencia artificial, fue el primero en alertar del coronavirus de Wuhan, el algoritmo pronosticó correctamente que el virus saltaría de la región China a Bangkok, Seúl, Taipei y Tokio en los días posteriores a su aparición y prevé que la pandemia desaparecerá en todo el mundo a lo largo del verano.

El software de riesgo de brote de BlueDot (2020) protege vidas al mitigar la exposición a enfermedades infecciosas que amenazan la salud humana, la

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

seguridad y la prosperidad. Desde el servicio Start Up ha desarrollado el algoritmo que se dedica hacer una predicción sobre la dispersión de virus se basa en recopilar y analizar información en más de 30 idiomas diferentes.

En el servicio BlueDot Explorer le permite realizar evaluaciones de riesgo avanzadas y de mayor calidad en menos tiempo integrando más de 100 conjuntos de datos diversos, incluidos los viajes aéreos globales y la vigilancia de enfermedades cercanas. Trabaja para distintos organismos oficiales en Estados Unidos de forma sistemática.

Otro campo de acción es la genética, como los algoritmos genéticos, la programación evolutiva, que las empleas y la programación genética, los autómatas celulares y la inteligencia de enjambres. Tal como explica Contreras (2017) se encuentran grandes avances desarrollados en materia de genética, relacionado al diagnóstico molecular en el mundo, donde las pruebas de paternidad conformaron el inicio de la medicina genómica, que emplea la prueba de ADN.

Los otros estudios se abocan al análisis de genes, cromosomas o proteínas para predecir el riesgo de enfermedades, identificar portadores de enfermedades (personas no enfermas que portan una copia del gen de la enfermedad), diagnosticar enfermedades, determinar el curso de una enfermedad, pesquizaje y diagnóstico prenatal.

La BBC (2019) cubrió la noticia sobre del científico chino He Jianku que creó los primeros bebés modificados genéticamente para tratar de protegerlos contra el

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

virus de inmunodeficiencia humana (VIH). La noticia del nacimiento de gemelos modificados genéticamente generó una ola de críticas en todo el mundo en noviembre de 2018. Creó los embriones en una clínica de fecundación in vitro (FIV) y usó una tecnología de modificación genética conocida como CRISPR-Cas9 para cambiar el gen CCR5.

Reporta la BBC (ídem.) en el mismo reportaje que, al revisar los estudios, otros investigadores del mundo consideran aunque el científico se había enfocado en el gen correcto, no habría creado la mutación exacta asociada con la resistencia al VIH. En cambio, creó modificaciones genéticas nunca antes vistas, cuyos efectos son actualmente desconocidos. Cualquier modificación genética podría transmitirse de generación en generación. Esto podría introducir cambios permanentes en la raza humana.

En las circunstancias actuales, la modificación genética en embriones humanos todavía supone varios problemas técnicos aún no resueltos, podría generar riesgos imprevistos y viola el consenso de la comunidad científica internacional. Posteriormente, a la revisión de los escritos que detalla He Jianku, una investigación de científicos internacionales explica, que pudo haberles dado a los bebés una mutación que acorta significativamente su esperanza de vida. Las autoridades del país asiático aseguran que violó las legislaciones tras realizar experimentos con embriones humanos, fue condenado a tres años de prisión, consideró la sentencia que los científicos cruzaron las líneas rojas de la ética en la investigación científica y la medicina.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Un último campo de acción de la vida artificial son las construcciones teóricas de la vida del planeta tierra y construcciones teóricas de otras formas de vida fuera de éste. Avances científicos han completado y reforzado la teoría original Charles Darwin. Tal como expresa Picó (2019) el reconocimiento de las leyes de la herencia o la tectónica de placas, dos ingredientes fundamentales que hoy en día forman parte integral de las explicaciones científicas sobre la evolución de la vida en el planeta.

La segunda, la evolución invisible antes de la aparición de los animales Charles Darwin no supo conjeturar, hoy en día con el desarrollo de la micropaleontología, el estudio de los microorganismos fósiles, admitió la lectura de los genomas, como registros históricos de la evolución y reconstruir el árbol familiar de todos los seres vivos sin excepción. Una de las teorías de vida no humana hoy intenta explicar, según Mussan (2020) el hallazgo en el año 2017 de las momias en una tumba ubicada muy cerca de las denominadas líneas de Nazca de Perú que analizan su supuesta vinculación con extraterrestres que se calcula podrían tener alrededor de 1.700 años.

Las investigaciones realizadas por un equipo multidisciplinario indican que su fisonomía no corresponde al de un humano, pero tienen características humanoides, algunos exámenes de ADN determinaron que las momias eran humanas, mientras que otras muestras no pudieron determinarlo, expertos y científicos aseguran que las características anatómicas serían muy difíciles de falsificar y podrían ser efectivamente extraterrestres.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Para continuar pensando

La diferencia entre los organismos no vivos y los vivos es que los primeros están sometidos al cambio (la degradación) y los segundos, además de estar sometidos al cambio, son los únicos que controlan el cambio y con ello neutralizan su tendencia a la degradación y a la muerte, generando vida.

Según Maldonado (2014) para entender los fenómenos desde la vida artificial no es estudiarlos por lo que son, sino por lo que hacen; esto es como se comportan. Basado en la teoría de los sistemas se estudia la interacción y el movimiento desde la cibernética. La vida artificial considerada como ciencia compleja, según Maldonado y Gómez (2010):

... no trata única ni exclusivamente de construir modelos y realizar simulaciones. La vida artificial trabaja en tres planos complementarios: (i) el modelamiento y la simulación de sistemas biológicos (sección actual), (ii) la construcción de sistemas (acaso ingenieriles) capaces de evolucionar, aprender y adaptarse en entornos cambiantes... y (iii) el estudio de las capacidades de cómputo de los sistemas biológicos y su implementación como nuevas arquitecturas y modelos de computación (p.77).

Villasmil y Gómez (2012) consideran que las tendencias en vida artificial versan en crear criaturas físicas por medios artificiales, que ocupan un lugar en el espacio y que evolucionan en el tiempo, pero en poco tiempo, dando la oportunidad de observar el proceso en el laboratorio. También creación de dispositivos físicos, principalmente en robótica y hardware y chips que son capaces de adaptarse a entornos cambiantes.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Con respecto, a la vida simulada a través del computador, es decir, la vida tal y como podría ser, no se ocupa de sacar criaturas del computador pero sí de crear criaturas de software que se comportan como los seres vivos y que generan comportamientos colectivos, emergentes e impredecibles por las herramientas y métodos.

Desde la ingeniería, orientada a la construcción de sistemas y a la resolución de problemas inspirados en características biológicas tales como evolución, auto-organización, auto-reparación y adaptación. Entre la participación de la vida artificial se encuentra también el diseño y construcción de nuevos artefactos, arquitecturas, investigaciones farmacéuticas, servicios financieros, telecomunicaciones, artes visuales y la música.

Hoy en día en China ha puesto en operación varios robots para minimizar el contacto entre el personal médico y los contagiados con Covid-19. En principio, hay robots que rocían desinfectante a su paso por los pasillos de los hospitales y también cuentan con emisión de rayos ultravioleta, con ello, pueden acabar con el 100% de bacterias presentes en una superficie de 21 metros cuadrados.

También hay otros capaces de tomar la temperatura, entregar medicamentos y dar instrucciones a los pacientes. Los robots están siendo usados en la entrada de empresas y centros comerciales, que miden la temperatura corporal y toman fotos de las personas que tienen fiebre y no portan tapabocas.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

V. LA ROBÓTICA COMO EXPANSIÓN TECNOLÓGICA DE LO COGNOSCIBLE BAJO LA PERSPECTIVA TRANSCOMPLEJA DE LA SOCIEDAD

⁸Andrés Scott Peña

La ciencia constituye fundamentalmente un mecanismo evolutivo del accionar de sujetos en constante búsqueda de respuestas, alternativas de soluciones a sus propios cuestionamientos y orientación para la toma de decisiones que fijará el rumbo de sus acciones ante lo desconocido, haciendo de lo incierto la razón de su pensamiento y estableciendo interacción de lo interno del ser con su entorno de manera bidireccional.

El sujeto no es un ente estático que permea de manera constante criterios definidos y predecibles, muy al contrario, cada sujeto desde su realidad genera una dinámica propia que se ve influenciada en gran medida por los avances científicos y el efecto que estos poseen sobre esa realidad, produciéndose una relatividad complementaria entre ambos que actúa sinérgicamente aumentando el ritmo de los avances a los que debe enfrentarse y adaptarse como sociedad.

La innovación tecnológica del diseño y construcción de robots, autómatas o androides que buscan imitar los movimientos de seres vivos se remonta a tiempos ancestrales significando grandes avances tecnológicos en su momento. La fascinación del hombre por construir replicas funcionales de sí mismo o de los animales que lo rodean forja patrones de innovación tecnológica inéditos por lo

⁸Doctor en Ciencias de la Educación. Magister Scientiarum en Gerencia Administrativa. Especialista en Docencia Universitaria. Licenciado en Contaduría Pública. Docente universitario. Investigador y conferencista académico. Escritor de libros, columnas periodísticas y artículos académicos

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

que el capítulo comienza presentando los antecedentes historiográficos de la robótica desde los albores de la humanidad.

Los diferentes aspectos de la cotidianidad del pensamiento antiguo que correspondían a sus múltiples niveles de realidad daban relevancia al papel de la robótica como visión de cambio emergente generadora de conocimientos novedosos, variados e inciertos que sin duda alguna impacta sustancialmente a la sociedad circundante y contenedora de los mismos lo que se desarrolla en su segundo apartado.

La robótica y la creciente dependencia de la humanidad a los robots, están cruzando el umbral de lo posible, redefiniendo los estándares de la vida conocida y modificando sustancialmente el concepto de la realidad, haciéndole trascender a insospechados estadios de desarrollo. Es por lo anterior que se considera que la robótica como parte esencial de la innovación tecnológica en la sociedad actual reflexionando profundamente bajo una perspectiva transcompleja que incide fundamentalmente en el entorno de los seres humanos, así como en su esencia creadora de conocimientos.

Los seres humanos son capaces de modificar de manera transversal la sociedad que les contiene, convirtiendo su devenir en entorno transcomplejo. Precisamente de allí surge la necesidad de dar una mirada al impacto transversal de la robótica sobre esquemas del conocimiento humano generado en la sociedad actual, los cuales inciden en diversos escenarios del contexto societal transcomplejo tomando la robótica como su plataforma basal.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Por lo anteriormente planteado surge una incitadora interrogante para resignificar la realidad que despierte la visión de mundo y su concurrente análisis: ¿Es la robótica el principio de la consolidación de la posthumanidad? El ser está rebasando la narrativa humanista proyectada hacia lo transhumano con la implantación de chips subcutáneos, prótesis externas, así como desarrollo de muchos otros implantes robóticos.

El humanismo está presenciando el ocaso de su era dejando traslucir la incertidumbre hacia el porvenir, desconocido por ahora, de los integrantes de la sociedad. La incorporación de la tecnología a nuestro cuerpo y mente abre una nueva era y esta particularidad debe ser abordada de manera abierta y flexible. La verdadera incógnita es que trascenderá a lo humano y cómo esta propuesta sistémica y multivariada configura la sociedad del futuro.

El siguiente apartado se plantea de manera multidimensional, pretendiendo enfocar su esencia multicausal e indeterminada en los avances del campo de la robótica como tamiz de la nueva humanidad, presentándose esta última como tecnología clave para el futuro de la humanidad con toda su carga sociocultural y afectiva.

El perfeccionamiento de la nanotecnología y de la biotecnología, así como su interacción con las ciencias neurocognitivas que sirven como base para sus avances en la actualidad configuran hitos nada despreciables. Es precisamente de esas diferentes perspectivas desde donde emerge el conocimiento que produce los avances tecnológicos experimentados por la robótica y que le permite

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

pronunciar elementos reflexivos en cuanto al uso de sus mecanismos científico-tecnológicos.

Finalmente, todas estas consideraciones se condensarán en las reflexiones finales en su último apartado, donde se subsumirá como la ética, la moral y los valores pueden ser impactados por la robótica y como esto trasciende más allá de la ingeniería y la cibernética en la constante búsqueda de alinear los valores de la inteligencia artificial y la robótica con los valores éticos de la sociedad.

Antecedentes historiográficos de la robótica.

La esencia de la robótica se desdobra del afán del ser humano por alcanzar el pináculo creador del universo. Busca incesantemente comprender y alinear esa esencia novedosa de construir el conocimiento, dando vida artificialmente a su imagen y semejanza, a autómatas mecánicos para perpetuar el desarrollo de una realidad fractálica donde se reconduce la creación de la vida en la tierra. Desde esta postura heurística, se hace imperativo entonces, aportar antecedentes de la robótica, ya que desde tiempos inmemoriales se tienen registro de autómatas creados en las culturas china, griega, árabe y europea.

En el año 377 AC el inventor Archytas diseña y fabrica una paloma mecánica capaz de remontar el vuelo por si sola gracias a vapor de aire en propulsión. La historia deja registros en la obra del escritor Polibio cerca del año 198 AC de un autómata con facciones y cuerpo femenino, pero con filosos clavos en su pecho y brazos que abrazaba mortalmente a todo aquel que incumpliera los pagos a Nabis como tirano de Esparta.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Se tiene registros del año 10 dC en la antigua Grecia, donde Herón de Alejandría, escribió su obra **Autómata** describiendo con gran precisión inventos de Arquímedes y otros genios en su afán de recrear los movimientos de los seres vivos. Muchos años después Filón de Bizancio haría lo propio con sus inventos mecánicos.

En sintonía con lo anterior, pero en la región del medio oriente en el año 805 dC los hermanos Barú Musa compilan el **libro de los mecanismos ingeniosos** donde describen con gran detalle mecanismos con rasgos autómatas de diversos inventores y épocas. Se encuentran registros de Al-Jazari, uno de los más grandes ingenieros de la historia proveniente del mundo árabe quien fue padre de la invención del cigüeñal, así como de los primeros relojes mecánicos movidos por pesos y agua, entre otros muchos inventos de control automático.

La figura del autómata deslumbró la creatividad del científico árabe, del cual invento uno con forma humana que servía distintos tipos de bebidas. Muchos años después escribiría su obra **Autómatas** (también llamada **El libro del conocimiento de los ingeniosos mecanismos**) y considerada una de las más importantes sobre la historia de la tecnología de su tiempo.

Como se puede ver en sus inicios la robótica se manifestó buscando transversalizar las expresiones de una realidad circundante a través de muchos inventores que con su ingeniosa obra lograron recrear atributos y movimientos de humanos o animales. Lo anterior incluye a Alberto Magno y Leonardo Da Vinci, hombres de ciencia y figuras decisivas del pensamiento medieval. La genialidad

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

del primero fue responsable de la creación de diversos seres artificiales, destacando sus llamadas cabezas parlantes, así como de un autómatas de hierro que le servía como mayordomo y en el que trabajó treinta años de su vida, el cual era capaz de caminar, abrir la puerta a los visitantes y saludarles amistosamente.

Las invenciones buscan impactar sobre el desarrollo societario y cambiar la realidad formulando soluciones eficaces a las diversas problemáticas que le aquejan en momentos críticos. De lo anterior es una muestra la construcción de un autómatas con forma de león mecánico por parte de Leonardo Da Vinci, con el cual Francisco I rey de Francia para 1515 esperaba facilitar las conversaciones de paz adelantadas con el Papa León X. Este insigne inventor también diseñó un autómatas en 1495, el cual tuvo forma completamente humana, usaba armadura medieval y según los planos originales movía los brazos, giraba la cabeza y se sentaba por sí mismo.

Muchos otros artilugios similares inundan las páginas de la historia todos con el común denominador de ser autómatas mecánicos que sorprendían a la sociedad de su época, asumiendo nuevas formas de encontrar respuesta en el océano de la incertidumbre, donde destacan **la fuente de pájaros cantores** y el **gallo de Estrasburgo** por su genial complejidad, precisión y majestuosidad.

Debe ser destacado que desde la dialéctica retro-prospectiva esta compilación de eventos y autores subsumen la esencia de un hecho cierto como lo representa la búsqueda de cambiar en un sentido radical los elementos que componían sus realidades respectivas y que tomaron conocimientos preexistentes

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

imbricándolos con adelantos tecnológicos para lograr escenarios novedosos que trascienden a su realidad implícita y emergen superando límites naturales y por ende desarrollando un futuro mejor en todos los ámbitos. Implica ir más allá, autogenerando una conciencia de evolución constante.

Percepción de la robótica en la cosmovisión de la antigüedad

La forma como se dibuja el cosmos desde la perspectiva de la vida y su origen conmociona aún al mundo de la ciencia, a la mayoría de los científicos y a la población en general. Estos buscan constantemente el andamiaje de la vida y los confines de su origen, y aunque han avanzado significativamente, deben asumir renuente su insatisfacción al no comprender del todo, sus infinitas y constantes auto similitudes. De esta incompreensión manifiesta se desdobra, en cierta manera, fanatismos y especulaciones que al final de cuentas trasgreden la realidad creando submundos de ideales empíricos.

Las culturas de los diferentes conglomerados societales definen el sentido de estas, configurando significados implícitos que se insertan en el ideario popular de los individuos que la componen. La bibliografía ancestral de las naciones se sobrecoge y aterriza con la idea de la creación de vida artificial y que pueda esta salirse de control, exterminando a la misma humanidad que lo creó.

En concordancia con lo anterior Guzmán (2014) establece que “la transcomplejidad como perspectiva epistemológica surge en respuesta a la crisis científica existente, justamente en un contexto epocal donde se ubica el derrumbe

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

de las organizaciones que rigieron durante todo el trayecto de la modernidad y postmodernidad (p. 121)

A nivel religioso se encuentran referencias de autómatas con pinceladas robóticas que adornan las historias antiguas. Se puede encontrar en la literatura religiosa judía al Golem, un autómatas hecho de barro moldeado a imagen y semejanza del hombre. En la literatura religiosa hindú en textos como Bhagavata Purana y Ramayana de la civilización védica en la India antigua hacen referencia a la tecnología avanzada; en Yoga Vasishta se menciona que un ser divino Asura llamado Sambarasura creó tres robots máquinas de guerra llamados Dama, Vyala y Kata para derrotar a los Adityas.

Con respecto a la religión cristiana encontramos que aun y cuando era contraria a los avances tecnológicos el rey Felipe II de España encargó a Juanelo Turriano, una máquina de oración para rogarle a Dios que salvara a su hijo de una enfermedad mortal. Juanelo diseñó y construyó el monje mecánico, una maravilla de la automatización temprana. Su cuerpo podía realizar una variedad de acciones impresionantes, desde mover la cabeza, la boca y los ojos, hasta golpearse el pecho con el brazo derecho y levantar la izquierda para bajar la cruz y el rosario.

En el lejano oriente las corrientes del confucianismo, el budismo, el taoísmo y el sintoísmo aceptan el dualismo de la mente y el cuerpo. El budismo utiliza títeres de sombras e imágenes de dioses y diosas con manos en movimiento, mientras que la relación única de Japón con lo inanimado permitió a Masahiro Mori citado por Trovato (2019) en su obra titulada Religión y robots: hacia la síntesis de dos

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

extremos, donde afirma que “los robots tienen la naturaleza de Buda dentro de ellos y el potencial para alcanzar la budeidad “. En la antigüedad se encuentra este afán recurrente en casi todas las culturas, religiones e idiosincrasias. La búsqueda constante de imitación del creador hace que el ser humano pueda exacerbar su visión de sí mismo y del mundo que lo circunda.

A nivel cinematográfico desde la creación de Frankenstein hasta llegar a iconos cinematográficos como Matrix y Terminator todos tienen un factor común que los define y es la robótica. Todas ellas desarrollan como hilo conductor específico de su trama la creación de la inteligencia artificial, el lenguaje de máquina y su imbricación en la robótica, haciendo énfasis de cómo se desdobra y supera con creces la capacidad de análisis, razonamiento y conocimiento del ser humano y termina doblegándolo para buscar su exterminio definitivo.

La película titulada Hombre Bicentenario confronta el dilema ético de la transformación integral de un robot, el cual al final de sus días muere siendo reconocido por la sociedad y todo su entramado jurídico como un hombre biológicamente completo. La película Ex Machine, explora con bastante profundidad el tema de la robótica, adentrándose en la cibernética y consolidándole a través de una inteligencia artificial capaz de replicar las actitudes humanas, traspasando lo meramente sensorial.

El comic de los supersónicos predecía en 1970 por lo menos dos docenas de artículos electrónicos y modalidades de actividades robotizadas que en la actualidad son muy comunes. De igual manera el comic de Dick Tracy y muchos

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

comics más predecían como el estilo de vida de la humanidad se vería impactado por la robótica a la vuelta de pocas décadas. A nivel literario es profusa y amplía la variedad de libros, novelas y estudios que hablan sobre la robótica, entrar a considerar siquiera en detalle tan abultado compendio de obras que ya de por sí deja asentado claro su pensamiento sobre los autómatas y la robótica.

La robótica como basamento de innovación tecnológica en la sociedad actual

El término de robótica fue creado por Isaac Asimov a mediados del siglo XX y le otorga andamiaje teórico en 1950 promulgando sus famosas leyes de la robótica que, aunque son ficticias sirven de inspiración a los ingenieros para la creación de los primeros robots productivos. Las tres leyes de la robótica de Asimov son: (a) un robot no puede dañar a un ser humano ni, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño; (b) un robot debe cumplir las órdenes de los seres humanos, excepto si dichas órdenes entran en conflicto con la primera ley y (c) un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que ello no entre en conflicto con la primera o la segunda ley.

La robótica trasciende a las expectativas del individuo en la misma medida que sus avances se constituyen en aporte tecnológico original que desafía los patrones establecidos. En tal sentido, la transcomplejidad del conocimiento en sí mismo, lo expone como un modo válido de discernir la realidad circundante y establecer una discursiva concordante con una exhaustiva revisión transdisciplinaria del tema abordado.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

A nivel global la robótica marca tendencias en innovación tecnológica con desarrollos cada vez más avanzados en la carrera por lograr un autómatas indistinguible del ser humano con autonomía de pensamiento y capacidad para tomar decisiones propias. Conforme a esta transfiguración de la realidad por la robótica Guzmán (2014) establece que:

La perspectiva transcompleja transfigura, y por ende, replantea la concepción de la naturaleza de la realidad. De allí que el investigador como sujeto participe y protagónico, requiere la adopción de una posición transparadigmática en torno a la naturaleza de realidades complejas, múltiples y diversas (p. 118).

La palabra robot proviene de la palabra de origen checo *robota* que significa trabajo o esclavo y aparece por primera vez en 1920 en una obra de teatro checa titulada *RUR* (*Rossums Universal Robots* en inglés o *Rossumovi Univerzáni Roboti* en checo) escrita y dirigida por Karel Capek estrenada en 1921 en Praga y dos años después en Nueva York. De esta obra teatral se produjo una película basada en una fábrica alienada por las máquinas donde se producen humanos artificiales orgánicos y estos van reemplazando paulatinamente a los humanos de verdad, destruyéndolos en una revolución tecnológica por ser menos eficientes en sus labores en la fábrica. En 1939 un robot llamado *Electro* es presentado y causa sensación en la convención mundial de la tecnología en Nueva York.

En teoría los artilugios robóticos son desarrollados para realizar las tareas que a los humanos les resultan peligrosas, desagradables o fastidiosas, aquellas tareas que los humanos no desean realizar, lo cual es bien descrito por Keisner y col (2016) cuando que en términos generales, un robot posee la capacidad de interpretar su entorno y adecuar sus acciones al logro de un objetivo para satisfacción humana.

El impacto de la robótica es generador de esquemas innovadores y se apuntala en detalles que, aunque los definen, generan una sinergia creadora que

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

transforma gradualmente su realidad, su entorno y su evolución con las consecuentes interacciones con los individuos sujetos de la sociedad lo cual concuerda con lo expuesto por la transcomplejidad que está orientada a la conformación de saberes múltiples alineados con la naturaleza diversa del individuo, sus pensamientos, decisiones y actuaciones bajo la influencia de su entorno variable y su contexto cambiante. En la figura No. 01, se observa tendencias del registro de propiedad intelectual de diversos proyectos en el ámbito de la robótica y su ascenso exponencial a medida que transcurre el tiempo.

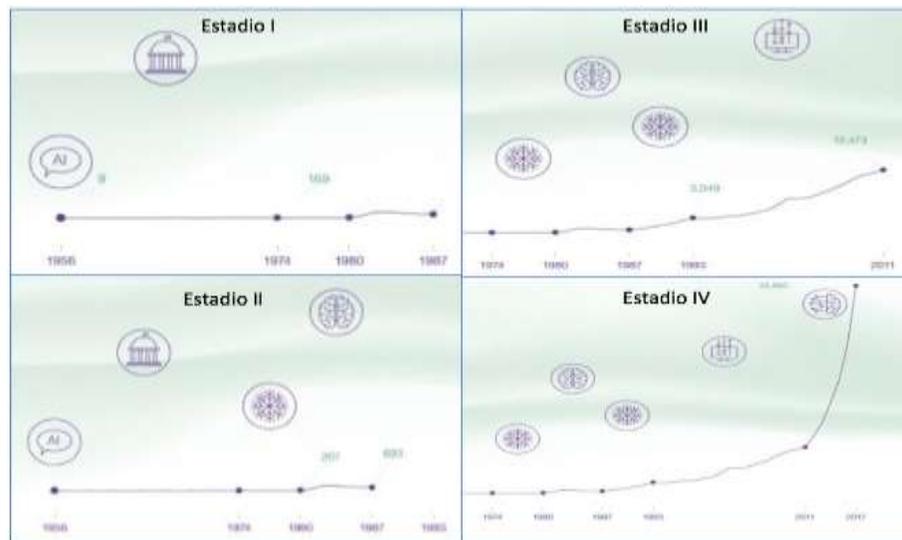


Figura 1. Patentes en el ámbito de la robótica presentadas a escala mundial, entre 1956 y 2017.

Fuente: OMPI 2019

Actualmente las posibilidades son diversas en sus usos, logrando robots que consiguen generar empatía en humanos y activar de esta forma sus neuronas espejo. Al final todos giran alrededor del concepto de autómeta descrito como una máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado bien sea animal o humano, ya que la robótica no es solo el arte de fabricar robots. La robótica se

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

convirtió en la carrera de los humanos por perfeccionar una réplica de sí mismo con todas sus implicaciones lógicas y sensoriales.

Los grandes sistemas sociales están compuestos por pequeños detalles que van cambiando su realidad a medida que se interrelacionan entre sí, siendo estos mismos detalles los que hacen la diferencia de su realidad aparente, migrando su esencia de un estadio previo a otro de mayor evolución de la sociedad que les contiene. Con respecto al contexto societal transcomplejo Schavino y Villegas (2010) destacan que la transdisciplinariedad:

Tiene por finalidad la comprensión del mundo presente desde el imperativo de la unidad del conocimiento, por cuanto, su interés es la dinámica de la acción, se apoya en la existencia o percepción de distintos niveles de realidad, en aparición de nuevas lógicas y en la emergencia de la complejidad.

Si bien nadie ha podido crear un robot integral con inteligencia artificial similar a la humana, se están dando avances agigantados en este sentido, es claro que estos desarrollos llevan un avance exponencial que más temprano que tarde logrará producir estos seres replicantes de los humanos.

Impacto transversal de la robótica en el conocimiento transcomplejo

Las ciencias contribuyen a la construcción de una racionalidad del conocimiento transcomplejo y poseen amplio espectro que modifica las estructuras del conocimiento transversalmente y que según Rodríguez (1996) citado por León (2017) establece que: “Desde la perspectiva epistemológica, la transversalidad debe ser considerada como un valor que implica una preocupación social de los

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

ciudadanos en el entendido que es compleja y pluridimensional” (p. 100). La robótica desde la perspectiva transcompleja es mucho más rica en conceptos de lo que a simple vista podemos dilucidar. Las áreas de conocimiento se ven impactadas en la primera línea pues busca construir conocimientos novedosos basados en metodologías no lineales tomando en cuenta aportes de diferentes disciplinas científicas.

La era moderna marca la pauta con la invención de los primeros robots autómatas, pero sin inteligencia artificial solo abordaban procesos de fabricación industrial mediante la automatización programada haciendo más veloces y eficientes sus procesos. En la actualidad ha avanzado en gran medida pues según Keisner y col (2016) hoy en día los robots se han convertido en sistemas completamente autónomos capaces de funcionar y tomar decisiones sin la intervención del ser humano.

La industria automotriz mundial ve de inmediato el potencial de estos robots para hacer más rápidas sus líneas de producción. En el año de 1961 General Motors es la primera compañía en integrar los brazos robóticos en sus cadenas de producción. En 1966 Nokia fabricaría los primeros brazos robóticos para ser comercializados en las plantas automotrices de Escandinavia y Europa del Este; En 1969 Kawasaki comienza a fabricarlos en masa para las empresas automovilísticas asiáticas. En Europa serian desarrollados por BMW, Mercedes Benz y Fiat, siendo Inglaterra uno de los pocos países en desestimar su uso instalando muy pocos en sus plantas automotrices.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

La fabricación mediante robots era una práctica extendida en la industria automovilística hace 50 años atrás en países desarrollados como Estados Unidos y el Japón aspecto corroborado por Keisner y col (2016) cuando establece que:

Japón era ya el líder mundial en la fabricación y uso de robots industriales desde la década de los 80, momento en que se generalizó el uso de robots industriales en la automoción y en otras líneas de producción industrial en los Estados Unidos y el Japón, los componentes mecánicos robotizados han ido evolucionando y son cada vez más sofisticados y autónomos.

El país que más desarrolló e implementó esta tecnología en sus inicios fue Japón quien para 1980 tenía una cantidad de 6.000 robots en sus plantas automotrices aproximadamente. La robótica tiene impacto transversal en las actividades cotidianas de la humanidad, en ese mismo sentido, el carácter transversal de la influencia de la tecnología modifica en gran medida la visión que se tiene de la misma y de la producción de conocimientos que de esta emerge, tal y como lo establecen Silva, Stella, Schavino y Zaá (2017) cuando acertadamente exponen:

La transversalidad como vía epistémica para la producción de conocimientos constituye una vía multiversa, multidireccional y transdisciplinaria que posibilita la emergencia paradigmática desde trasvases cognitivos y entramados teóricos, que superan la visión fragmentada, disciplinar y... propia de la lógica de la modernidad, que se erigió sobre la base de la disciplina como campo impermeable y estanco donde se centraba la investigación científica (p. 23).

En el actual panorama global, abordar la robótica desde el prisma transcomplejo representa diversas aristas de análisis que antropológicamente se constituye en un hecho que potencia culturalmente su razón de ser como bien se

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

manifiestan a nivel educativo, de salud, de seguridad, en la gestión de mantenimiento de activos tanto públicos como privados, solo por ser enunciativo y sin ánimo alguno de ser taxativo en dichas opciones perdiéndose de vista la influencia de la robótica en la actualidad.

Se observa el sentido transcomplejo en los objetivos que por sí solo no trasluce su esencia más allá de su afán de entender y comprender que al final de cuentas transformará su realidad. Tal y como lo expone Schavino (2017) cuando plantea se debería tomar en cuenta la existencia de un objetivo orientado a comprender, uno dirigido a explicar y otro dirigido a transformar. El cumplimiento de estas tres fases conlleva completar el círculo transcomplejo. Realmente ahí está la flexibilidad, la apertura del enfoque integrador transcomplejo.

Desde la perspectiva educativa la robótica aplica aspectos en la forma de aprender de los individuos en la actualidad implicando diversas áreas del saber cómo la mecánica, la física, la química, la informática entre muchas otras, siendo beneficiados el desarrollo de la creatividad, la estimulación de la motricidad fina, lograr óptima introducción a la tecnología, así como promover el desarrollo intelectual general y fortalecer el hábito de trabajar en equipos, mejorando la confianza personal de lograr crear y configurar algo de la nada. Hoy en día existen más de 50.000 robots educadores en los países asiáticos.

Desde la perspectiva de seguridad ayuda en tareas de seguridad nacional de algunos países en los procesos de búsqueda, reconocimiento y salvamento de personas, la desactivación y destrucción de explosivos a través de rovers o

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

drones, así como el reconocimiento aéreo mediante drones entre muchas otras actividades medulares en este sector.

En el sector militar se produjo el primer ataque con drones en el año de 2008 y se piensa que para el año 2022 estarán presentando sus primeros prototipos de su línea de tanques de guerra, aviones de combate, así como barcos y submarinos de gran calado no tripulados

Desde la óptica transversal de la gestión del mantenimiento de activos se habla actualmente de algoritmos de predicción de fallas y de la migración del mantenimiento correctivo y preventivo al mantenimiento predictivo que aunado a conceptos como Machine Learning y Big Data dejan el campo abierto para la instauración de novedosos esquemas robóticos en dicho sector.

Desde la perspectiva de la investigación espacial todos los robots autónomos enviados al espacio exterior poseen en mayor o menor medida componentes que le ha permitido a la humanidad realizar avances gigantescos en este campo. Adicionalmente en el año 2013 se envió a la estación espacial internacional el primer robot humanoide en el espacio, resultando en todo un éxito del proyecto Kibo Robot de Toyota, que había permitido el desarrollo de dos robots humanoides por la Universidad de Tokio auspiciados por la empresa automotriz. El principal objetivo de este proyecto era, sin duda, marcar un punto de inflexión en el sector de la robótica.

Desde la perspectiva de la salud, la robótica se ocupa actualmente de la invención de implantes robóticos para que las personas, con cierto tipo de

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

movilidad reducida, retomen su normal desenvolvimiento en la sociedad. Existen actualmente unos 5.000 brazos robóticos llamados Da Vinci para operaciones a distancia y dos tercios de los encuestados en Estados Unidos se encuentran incómodos con esta modalidad quirúrgica a distancia. Japón posee 300.000 robots acompañantes para niños y ancianos aproximadamente, así como para enfermos desvalidos.

El COVID es una crisis global que da oportunidad de calibrar cuán avanzada se encuentra la robótica en este sector, midiendo el liderazgo sobre este segmento de innovación tecnológica. En palabras de Méndez (2020) establece que:

Se han implementado diferentes aplicaciones robóticas para reducir la exposición de la gente y, por ende, la cantidad de contagios: robots móviles, ya sean terrestres o aéreos, para entregar alimentos y/o medicamentos a pacientes infectados, para sanitizar el transporte y la vía pública, e incluso para tomar exámenes.

Bélgica cuenta en la actualidad con robots que toman la temperatura y determinan el uso correcto de la mascarilla recibiendo a los visitantes en sus hospitales en el marco del COVID 19. Estos robots diseñados para minimizar el contacto físico entre el personal sanitario y los pacientes infectados. Lo anterior demuestra algunos de los avances tecnológicos de innovación robótica utilizados en medio de la pandemia, los cuales llevan años asistiendo a las personas, pero la calamidad global los convirtió en punto de control en los hospitales belgas entre muchos otros ejemplos que pueden ser dados.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

En el marco de la actual crisis sanitaria global por el COVID 19 la robótica, así como la inteligencia artificial son pilares fundamentales de la transformación digital global que sobrepasa con creces la mera digitalización de procesos. El planeta se encuentra ante la encrucijada de su destino donde entrar o no entrar en sinergia con los adelantos robóticos impondrá de igual manera profundas consecuencias.

En tal sentido, la transcomplejidad se asume desde una perspectiva epistemológica emergente que plantea un nuevo modo de percibir o hacer ciencia. En este sentido Schavino y col (2017) establecen que el éxito de este tipo de estudios está en la rigurosidad en la ejecución del estudio que debe ser coherente con las dimensiones paradigmáticas, en un sistema que se construye a partir de las necesidades de la investigación, del investigador y de la realidad.

Este enfoque de hacer ciencia permite la autoconstrucción o reconstrucción de nuevos escenarios de diferente índole, donde destacan los escenarios científico académico, emocionales intelectuales, ético morales, distintivos que trascienden perspectivas que le anteceden lo cual hace mención al uso de nuevos materiales y los avances punteros en inteligencia artificial, mecatrónica, navegación, tecnología de sensores, reconocimiento de objetos y procesamiento de información, ha transformado la robótica en un ámbito multidisciplinar.

¿Es la robótica el principio de la consolidación de la posthumanidad?

La complejidad determina la ruta de trasvase de preceptos de diversos tipos de humanismo que se van transfigurando en su narrativa ensamblando aspectos

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

que trascienden a la mera humanidad del individuo incorporándole aspectos tecnológicos e innovadores que desdibujan su esencia humana y lo elevan al estadio siguiente. Los robots siempre han planteado preguntas sobre la creación divina en los escenarios hipotéticos y teóricos configurados por sus creadores y los temores de deshumanización, transhumanismo e incluso extinción humana siempre están presentes en sus mentes por su connotación sociocultural, denotando así su esencia transcompleja.

El anterior contexto intersubjetivo puede ser percibido como intermediación con lo divino en algunas posturas de investigación que promulgan su objetivo final de transformar la condición humana mediante el desarrollo y el desarrollo de tecnologías ampliamente disponibles, que mejoren las capacidades humanas, tanto a nivel físico como psicológico o intelectual que terminen desdibujando la esencia multireferencial del ser humano y de donde se comienzan a dimensionar términos como transhumanidad o posthumanidad.

La robótica por sí sola no representa un impacto profundo en la sociedad sin que venga acompañada de la inteligencia artificial y el Machine Learning, es allí cuando la robótica impacta significativamente la cotidianidad del ser humano. Destacando en base a lo anterior que la inteligencia artificial comenzó su investigación y desarrollo en 1936 con las investigaciones de Alan Turing que son consolidados en 1950 con la publicación de su artículo Computing Machinery and Intelligency, donde propone su extraordinaria prueba de Turing para medir si una

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

computadora es inteligente o no, siendo coautor del primer programa para jugar ajedrez.

Los inicios del Machine Learning se debe a los científicos Arthur Samuel y Frank Roseblat en 1950 cuando el primero desarrolla avances significativos en el campo de los juegos informáticos y el segundo inventa el "Perceptron" como una de las primeras redes neuronales que asemeja a un cerebro humano, basándose ambos en los avances matemáticos alcanzados por Alan Turing.

El machine learning es en pocas palabras un método analítico que permite que un sistema, por sí mismo aprenda, logrando descubrir patrones, identificando tendencias y generando relaciones en los datos capturados, donde es relevante el conocimiento adquirido en el proceso que le permite ir incorporando dichos aprendizajes para cambiar sus reacciones en cada interacción con la información nueva. Es precisamente la capacidad de aprender de los datos sobre la marcha que sitúa al Machine Learning como una expresión de la Inteligencia Artificial.

La ley de Moore, promulgada por Gordon Moore el 19 de abril de 1965 predice el crecimiento y perfeccionamiento exponencial de los patrones tecnológicos. Específicamente establece que: "el número de transistores por unidad de superficie en circuitos integrados se duplicaba cada año y que la tendencia continuaría durante las siguientes dos décadas"

Justamente diez años después dichos autores modificaron su propia ley al corroborar que el ritmo bajaría y que la capacidad de integración no se duplicaría cada 12 meses sino cada 24 meses aproximadamente lo cual se viene cumpliendo

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

de manera inexorable hasta el año 2020. La fecha de caducidad de la ley de Moore para el año 2022 cuando una nueva tecnología vendrá a suplir a la actual parafraseando al científico matemático en conferencia realizada en 2007.

En base a lo anterior y partiendo de este criterio, se puede decir entonces, que el contexto societal es transcomplejo ya que desde la perspectiva dialógica se integran el análisis, la explicación y la comprensión de la robótica reflejando una cosmovisión donde los robots se basan cada vez más en el uso de datos, están regidos por leyes que se cumplen sistemáticamente y se encuentran conectados a redes inteligentes, como aquellas que se están desarrollando para su uso en drones y vehículos autónomos, impactando directamente a los usuarios finales que son los seres humanos que componen esta sociedad cada vez más transhumana.

La clave que descubre este nuevo escenario de posthumanidad lo constituye el refinamiento de los algoritmos que rigen la inteligencia artificial que gradualmente se irán mimetizando con las particularidades humana, haciéndose cada vez más imperceptibles hasta pasar desapercibidas en forma, fondo y contexto.

Sobre esto Méndez y col (2020) destacan el impacto de los algoritmos porque simulan procesos de inteligencia proveniente de la naturaleza para buscar soluciones. De esta disciplina se desprenden áreas de aplicación tales como lenguaje de máquina, visión artificial, procesamiento artificial de voz, realidad

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

virtual y realidad aumentada entre muchas otras. Su impacto será tan profundo que transformará la vida y el trabajo tal como se conoce hoy.

La proliferación de ciborgs definidos como hombres mejorados o artilugios robóticos que desdibujan la esencia humana marcan una narrativa interesante que se dirigen inexorablemente a la posthumanidad, la cual es entendida desde la perspectiva compleja en los novedosos ejercicios de imbricación tecnológica y su registro en el pensamiento pragmático de lo que se origina de ello.

Según Braidotti (2015) la condición posthumana exhorta a poner a prueba la complejidad y las paradojas de los actuales días. Para cumplir con esta tarea, se necesita una nueva creatividad intelectual. La figura 2, a continuación muestra la evolución hacia el posthumanismo.



Figura 2. Evolución hacia el posthumanismo.
Fuente: Cascajosa 2018.

La constante búsqueda de avances en este ámbito del saber se decanta desde la filosofía que intenta dilucidar sus alcances éticos, así como responder si

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

algún día el hombre jugando a ser Dios puede crear vida a través de la robótica.

Con respecto a lo presentado anteriormente Bunge (2005) establece que:

El deber de los filósofos es tratar de resolver problemas conceptuales difíciles e interesantes, cuyas soluciones pueden ser de utilidad para otros pensadores y para hombres y mujeres de acción de todo tipo. En particular, creó que el filósofo... tiene el deber de dilucidar los conceptos claves, los problemas, los supuestos tanto ocultos como explícitos y los descubrimientos sociales de su época (p. 10).

La superación de las limitaciones humanas sin duda alguna se alcanzará cuando la imbricación de la robótica, la inteligencia artificial y el machine learning logren emular con precisión los procesos creativos sumados con la capacidad de generar sentimientos abstractos de los individuos que componen la sociedad humana. Conforme a lo anterior Silva, Stella, Schavino, y Zaá (2017) dejan claro que:

El ser tiene infinitas posibilidades que llenan todo lo inconmensurable. No es viable el ser en partes, sino el ser global y en expansión, deviniendo eternamente y ocupando lo posible y cognoscible; por eso es imposible la medición del ser. La plenitud de lo pensado, de lo descubierto, de lo que puede develarse es ocupada por el ser; en consecuencia, conviven en él cualidades como la infinitud, amplitud, profundidad, movimiento y aparente quietud por su carácter total (p. 23).

La innovación tecnológica juega un rol de primera línea en este sentido pues la robótica demuestra una heurística de nuestra propia cognición humana, pero sin las limitaciones físicas e intelectuales que esta eventualmente pudiera imponer, logrando la trascendencia natural de la humanidad. La tecnología se constituye en el factor configurador de la posthumanidad pues el conocimiento se verá incrementado, potenciándolo de manera exponencial a la humanidad en la

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

percepción aumentada de los procesos cognitivos complejos, así como el uso de medios de innovación tecnológica en la construcción de criterios de razonamiento, discernimiento y toma de decisiones autónomas.

La robótica como tamiz de la nueva humanidad.

En la actualidad los humanos comparten el planeta con cerca de 9.000.000 de robots de diferentes avances, de los cuales alrededor de 30 % trabajan en fábricas; El 10 % de esa cifra son vehículos autónomos y tan solo en Estados Unidos de Norteamérica tiene circulando en sus avenidas cerca de 1.400 en este instante. Existe una gran preocupación por un estimado del 50% de los ciudadanos adultos encuestados a nivel global de llegar a perder sus empleos ante el auge de la robótica y este porcentaje aumenta drásticamente en Estados Unidos al 72 % de los encuestados. Las estadísticas presentadas por el gobierno chino confirman que de 2013 a 2015, tan solo en dos años, una cantidad superior a 2.000.000 de trabajadores fueron suplantados en sus puestos de trabajo en la provincia china de Zhejiang.

Los términos robots, ciborgs, androides, autómatas y muchos más actualmente forman parte de la cultura popular, sobre todo gracias al cine. Sin embargo, la robótica es una realidad, de hecho, es una de las tecnologías que marca el futuro de la humanidad donde se percibe la naturaleza de múltiples escenarios que definen mundos imbricados en sistemas creados artificialmente. Al principio el cambio fue lentamente gradual, pero con los avances tecnológicos se

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

fue acelerando las iteraciones necesarias para llegar a ámbitos impensables hace algunos años.

Adicionado a lo anterior los humanos comenzaron siendo solo humanos constituidos por sistemas no lineales que destacaban en todos sus niveles por lo complejo de su entramado y paulatinamente fue cambiando al híbrido humano con piezas robóticas donde su esencia se desfigura paulatinamente y ese límite se traspasará cuando se complete la migración a seres robóticos, lineales, en teoría autónomos y con capacidad de análisis independientes sin ninguna connotación biológica. Es en ese preciso momento cuando se producirá un cambio inédito en la historia de la humanidad dando paso a una nueva era tecnológica.

El término ciborg surge de la mezcla de la cibernética como la ciencia interdisciplinaria que estudia el control y la comunicación entre seres vivos y máquinas con la esencia de los organismos vivos y naturalmente evolucionados. El compromiso bioético de controlar y restringir estos avances debe lograrse antes de ser sobrepasados por la tecnología y no después, asumiendo un carácter proactivo ante la robótica y sus avances.

La reactividad de evitar que los sistemas automáticos y pre programados se disparen al margen de lo que resulte mejor para la humanidad de por si fuese una batalla perdida pues se estaría improvisando sobre algo que sin lugar a duda cambiara al planeta radicalmente. El pragmatismo de la innovación tiende a enseñar a la humanidad que las barreras insalvables no existen cuando la tecnología se aplica a fondo, esto se está demostrando con el diseño de robots o

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

androides. Muchos han asegurado que los robots nunca desarrollarán conciencia propia lo que imposibilita en gran medida que alcancen a replicar a un ser humano con todas sus implicaciones.

Pese a lo anterior, existen claros indicios que la inteligencia artificial insufla algo más que algoritmos a los androides y que los robots pueden ir un paso más allá de lo pensado por lo que se expone como ejemplo provocadores los dos robots más famosos en la actualidad como lo representan Dick y Sophia, esta última tiene legalmente la nacionalidad saudí y posee más derechos que las mujeres humanas de ese país, es reconocida mundialmente como el primer individuo no humano del planeta, mantiene un empleo con paga y tiene sus propias redes sociales.

Se está configurando las postrimerías de la cuarta era de la industrialización tecnológica según indica la figura 3 para dar paso a una quinta era de innovación tecnológica donde la robótica emerge como la guía de los albores del gran salto a la nueva realidad, acelerando su transición y configurando los aspectos definitorios de una nueva normalidad, dirigiendo su mirada hacia nuevos esquemas posthumanos donde se debe ejercer una ética proactiva que prevea situaciones inéditas.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

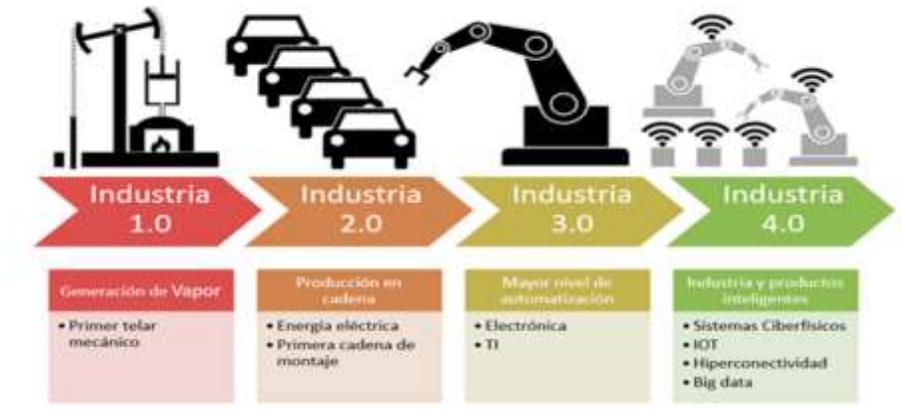


Figura 3. Eras industriales de innovación tecnológica

Fuente: Datos de investigación

Actualmente son inversamente proporcionales los humanos y los robots puesto que el ser humano todavía puede expresar sentimientos mientras que estos seres mecánicos, aunque están desarrollando sensibilidades finas para saber en qué parte del mundo se encuentran y aprender de su entorno, aún no trascienden al entorno complejo de los sentimientos humanos y esa es la última frontera hacia la posthumanidad ¿lo lograrán?

Reflexiones finales

Los seres humanos en general y especialmente los académicos tratamos de observar todos los problemas que surgirán paulatinamente cuando la robótica avance dentro de la cotidianidad de las personas y de la sociedad en general. Los avances en este tema originan mayores interrogantes: ¿Qué define lo inteligente? ¿Cuál es el Impacto ético, legal, político, académico de la robótica? ¿Cómo serán estos modelos cognoautomatizados? ¿Quién regula esta inteligencia artificial? y ¿cuáles serán sus alcances que modifican las realidades de los seres humanos?

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

A cada avance hacia la transhumanidad mayor cantidad de interrogantes sin respuesta por las tecnologías transhumanizantes que solo persiguen perfeccionar al ser humano haciéndole más inteligente, más longevo, más perfecto, más feliz, incluso planteando la utopía de alcanzar la inmortalidad cibernética o en todo caso la replicación de su inteligencia, recuerdos y conocimientos en androides avanzados.

A nivel de las interacciones humanas es estrepitosa la influencia de la robótica sobre los esquemas de la sociedad humana a tal punto que desde 2016 a la fecha más de 5.000 hombres en Japón, han formalizado matrimonios con hologramas robóticos de mujeres y en la actualidad se desarrollan robots mujeres para que puedan servir como esposas a los japoneses y es justamente allí donde este capítulo pretende la construcción de saberes transcomplejos con la imbricación de las diferentes posturas del pensamiento, particularmente desde la óptica del pensamiento transcomplejo tomando en cuenta la postura de Briceño (2011) cuando sostiene que: “La transcomplejidad es la suma de dos vertientes del pensamiento moderno: la transdisciplinariedad y la complejidad” (p. 01)

Las características del diseño de su fuero interno, las necesidades que serán satisfechas, así como las premisas y valores del funcionamiento e interacción de los robots con la humanidad son la materia pendiente en el debate científico pero la ética confrontada ante la robótica es un área gris que deberá ser encarada cuando la razón autónoma inunde con ribetes de inteligencia artificial los autómatas del futuro cercano.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

La conexión de los androides con los seres humanos y su total consolidación viene a ser el advenimiento de la singularidad de pasar de lo transhumano a lo posthumano, es decir dejar atrás al humano mejorado y dar vida al humano superior totalmente modificado con la finalización de este proceso de fusión de lo humano y lo robótico.

Ahora es el justo momento cuando la humanidad debe tomar en sus manos la gran responsabilidad de dar respuesta coherente y profunda a los temas irresolutos de esta trayectoria deshumanizante esgrimiendo recursos como la reflexividad de los conceptos y sus implicaciones para lograr determinar un pronunciamiento preciso de elementos en cuanto al uso de mecanismos científico-tecnológicos esbozados desde el devenir histórico proyectados hacia la praxis en el futuro, así como sus consideraciones éticas por urgencia desde cuya perspectiva se debe dar respuesta coherente de acuerdo a la libertad de decisión, la dignidad del individuo, así como de su naturaleza humana.

Sin lugar a duda estos factores que determinan el curso de la innovación prefijado por la robótica inciden en diversos escenarios del contexto societal transcomplejo, vinculados de alguna manera por intereses de política, economía, educación, salud, deporte, cultura, entre otros, desde la productividad científica hasta la transformación de múltiples ámbitos de interconectividad humana hasta su total adecuación a los esquemas impuestos por la robótica.

VI. COMPUTACIÓN SUAVE Y LA EMERGENCIA DE SISTEMAS HÍBRIDOS

⁹Omaira Golcheidt

La computación suave, se considera una rama de la inteligencia artificial, englobando diversas técnicas que se pueden emplear para la resolución de problemas, manejando información incompleta, con incertidumbre o inexacta. A través de esta, se busca investigar y desarrollar nuevos conceptos, estrategias, metodologías y herramientas que permitan obtener soluciones óptimas a problemas relevantes de simulación, análisis y diseño de procesos relacionados con: emociones (aprendizaje, estrés) medio ambiente (riesgos hidrometeorológicos), así como predecir el comportamiento de estructuras tomando en consideración sus aspectos de incertidumbre.

Entre otros aspectos, también busca la creación de sistemas expertos, donde el objetivo central, sea el mejoramiento en el proceso de toma de decisiones en situaciones de riesgo en tiempo real, como las acciones para un control predictivo. Los principales elementos de esta nueva vertiente, son: la lógica difusa, la neuro-computación y el razonamiento probabilístico, incluyendo este último a los algoritmos genéticos, las redes de creencia y los sistemas caóticos, entre otros.

⁹ Postdoctora en Investigación Transcompleja, Doctora en Ciencias de la Educación. Magister Scientiarum en Planificación Educativa. Profesora en Educación Comercial. Técnico Superior en Informática. Docente Universitaria/Blearning/Elearning. Megatutora. Proyecto Suma y Sigue. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Origen de la computación suave

En el año de 1965, el profesor Lofti Zadeh en la Universidad de California-Berkeley presentó la teoría de conjuntos difusos, como un mecanismo para representar el conocimiento y realizar inferencias más parecido a cómo lo hacemos los humanos con la teoría clásica de conjuntos, donde los elementos no pertenecen a los conjuntos de una forma total o nula, sino que puede haber diferentes grados y los valores de verdad, no sólo verdadero o falso, sino que pueden ser infinitos. Es decir, entre el blanco y el negro también se puede considerar una escala de grises.

Además de la lógica difusa, Zadeh (1994) presenta otras técnicas como las redes neuronales o los algoritmos genéticos, quienes se muestran prometedoras a la hora de obtener resultados inteligentes en la solución de problemas complejos. Cuando estas tecnologías y otras similares se unen, dan lugar a lo que hoy en día se suele denominar Computación Suave, cuyo término inicial se introduce en ese año afirmando que, no solo se trata de un cuerpo homogéneo de conceptos y técnicas. Más bien es una mezcla de distintos métodos, que de una forma u otra cooperan desde sus fundamentos.

En este sentido, el principal objetivo de la computación suave es aprovechar la tolerancia que conllevan la imprecisión y la incertidumbre, para conseguir manejabilidad, robustez y soluciones de bajo costo incluyendo mejores representaciones de la realidad. Por otro lado, como parte de las componentes se considera que, en lugar de aplicar los algoritmos evolutivos los cuales pueden

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

representar solo una parte de los métodos de búsqueda y optimización que se emplean, también deberían considerarse los algoritmos heurísticos o aún mejor las metaheurísticas, que son estrategias inteligentes para diseñar o mejorar procedimientos heurísticos muy generales con un alto rendimiento, permitiendo ir más allá de la problemática planteada.

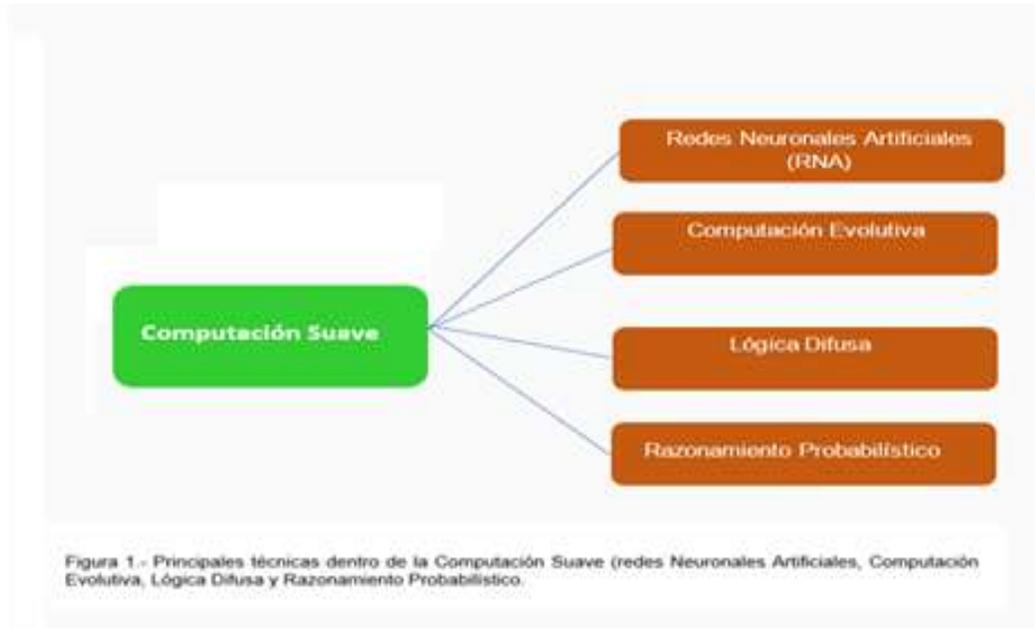
Cabe destacar que las metaheurísticas, permiten la solución de problemas a partir de la utilización del conocimiento que se tiene sobre este, realizando las modificaciones pertinentes en el procedimiento de solución que, aunque no afectan a la complejidad del mismo mejoran el rendimiento en su comportamiento práctico, empleando recursos computacionales existentes así como el lenguaje natural.

Las técnicas de la computación suave, explotan la tolerancia de la precisión, la verdad total y la certidumbre para un problema específico. Otra diferencia que contrasta, aparece al considerar que el razonamiento inductivo juega un papel destacado en esta área. Además de ello, se encuentra relacionada estrechamente con la emergencia de sistemas híbridos en ciencias de la computación, que se define como aquel que incluye dos o más sistemas heterogéneos, integrados por un objetivo compartido o acciones conjuntas, aun cuando estos subsistemas puedan tener diferente naturaleza y lenguaje de especificación de acuerdo a la percepción que se tenga sobre este.

Desde la perspectiva de la ciencia cognitiva, cada sistema inteligente natural es un híbrido porque éstos desarrollan operaciones mentales tanto en niveles

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

simbólicos como sub-simbólicos. Las principales técnicas de computación suave se muestran en el gráfico1, a continuación.



Computación suave en la inteligencia artificial

Como parte del entramado de aplicaciones, que ofrece la lógica difusa a través de la computación suave, se tiene a la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) considerándose como parte elemental del control inteligente y distribuido, incluye a los sistemas expertos quienes descentraliza el proceso de control, lo que lleva al uso de agentes autónomos. Estos agentes son especialistas que cooperan entre sí, de forma contraria a como lo hacen los sistemas que cuentan con un control general. Con lo anterior se trata de minimizar en lo posible la incapacidad de planificar dentro de un mundo dinámico, al permitir la existencia de varios especialistas resolviendo un mismo problema en vez de uno.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Dentro de la IAD se encuentran las arquitecturas multiagentes, quienes dentro de su diseño pueden ser de diversos tipos: colaborativos, interfaz, móviles, informativos, reactivos, híbridos o inteligentes. Lo cual evidencia la sinergia y recursividad presente en esta área. Entre los agentes mayormente empleados, se encuentra a los reactivos, encargados de dotar a los sistemas de la capacidad de reaccionar con rapidez en un mundo dinámico y en continuo cambio. Para lograr esto, cada agente sintetiza los aspectos de ese mundo que son relevantes para su funcionamiento. Con esta división se creará por otro lado, la interacción de estos agentes con el mundo y entre ellos, para que el funcionamiento global del sistema emerja.

Asimismo, también se tiene a los agentes cognitivos quienes poseen una mayor potencia deliberativa permitiendo no solo establecer amplias posibilidades de cooperación entre ellos, sino también asumir tareas complejas como las relacionadas con las emociones y su integración con los propios aspectos cognitivos, del proceso que se desee estudiar. El empleo de una arquitectura adecuada para este tipo de agentes, permite que puedan ejercer funciones puramente reactivas cuando se necesite, por lo que la actuación conjunta de estos agentes y los reactivos no presenta problema alguno en la Intelligent – elearning.

Una de las principales características de los agentes reactivos es su rápida respuesta y su adaptabilidad a entornos complejos y dinámicos. De aquí, que su razonamiento deliberativo se ensamble tomando en consideración las técnicas de computación suave, como es el caso de la teoría difusa y los métodos heurísticos.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Una parte importante de la teoría difusa y de sus posibilidades, está centrada en aspectos tales como la representación del conocimiento, razonamiento aproximado y razonamiento con incertidumbre, principales temas que trata la computación suave. La lógica difusa en control, está muy cercana al espíritu de los expertos y se conoce como sistemas de control basados en inteligencia artificial, un ejemplo del producto de esta teoría son los mapas cognitivos difusos. Estos son grafos utilizados para representar el razonamiento causal, que se muestra en la figura 2.

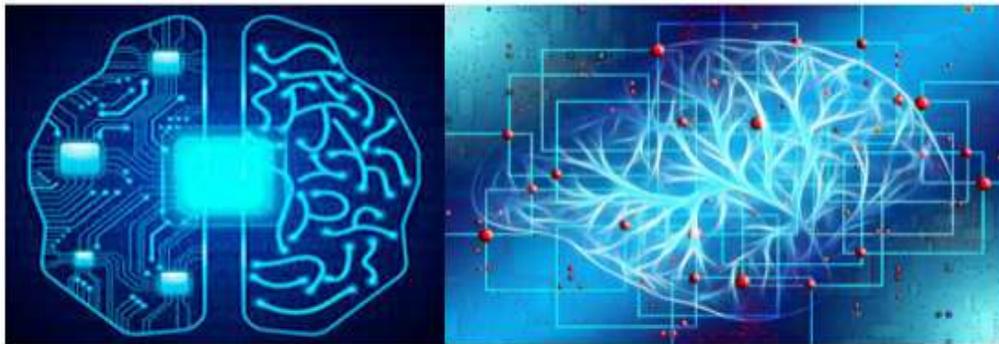


Figura 2. Sistema Inteligente. Fuente: Xprttraining.com

Los sistemas de aprendizaje inteligentes, donde el entorno a monitorizar es el desarrollo de la tarea cognitiva a partir de lo cual la capacidad de adaptación radica en encontrar el origen de los errores en distintos estudiantes. Precisamente, la aplicación de estas técnicas de Inteligencia Artificial (IA) permitiría un análisis muy completo del conocimiento y experiencia del experto humano, que serviría para analizar (superficial y profundamente) los errores de los estudiantes aplicando las estrategias y tácticas idóneas no sólo para corregir esos errores,

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

sino también para acelerar la migración de esos estudiantes del estado de aprendices al de expertos. Es por ello, que se pretende que las investigaciones en el campo de intelligent e-learning sigan esa dirección.

Diversas técnicas, se han venido utilizado para representar el conocimiento del experto y la actuación del tutor en el aprendizaje. Entre estas destacan los mapas cognitivos difusos que, a pesar de su novedad, han producido gran impacto por sus logros. Es importante resaltar, la incorporación de la computación afectiva o de emociones, quien va a representar la apertura de un importante campo de actuación en este tipo de sistemas.

Esto porque la evaluación del estado afectivo del estudiante durante el proceso de aprendizaje permite que el propio sistema, bien indirectamente por las acciones tutoriales, bien directamente por medio de avatares, pueda incidir y tratar de mejorar la motivación del estudiante, pieza fundamental del propio aprendizaje y de esta forma autorregular su aprendizaje. En el caso del manejo de las emociones por parte del sistema experto, es necesario modelar el razonamiento del sistema para saber cuándo se deben mostrar ciertas acciones que permitan eliminar el estrés, presente a través de distintas actividades que ocasionan: enojo, frustración, vergüenza entre otras.

A continuación, se muestra un proyecto de IA, aplicada al proceso de desconfiamiento del COVID 19 en España, diseñado por Santiferris (2020) a partir de un agente inteligente, quien es una entidad capaz de percibir su entorno, procesar tales percepciones y responder o actuar en su entorno de manera

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

racional, es decir, de manera correcta y tendiendo a maximizar un resultado esperado. Esta percepción, la realiza con la ayuda de sensores y actuar en ese medio, utilizando actuadores (elementos que reaccionan a un estímulo realizando una acción).

Neurocomputación del aprendizaje

Para abordar la neurocomputación del aprendizaje, es necesario dar una mirada al origen del modelo de neurona artificial planteado por McCulloch y Pitts (1943) como un modelo matemático de neurona artificial. Donde se define a la red neuronal, como un sistema de procesamiento de información que tiene ciertas características de comportamiento, inspiradas en el conocimiento actual que tenemos sobre el funcionamiento de las neuronas biológicas.

Es importante destacar que, el cerebro se puede contemplar como un ordenador complejo, no lineal y paralelo que procesa gran cantidad de información. Su capacidad de organizar las neuronas para realizar ciertas computaciones, como el reconocimiento de objetos, en menos de 0.2 segundos, supone una rapidez de cálculo muy superior al computador actual más potente. Igualmente, el sistema visual humano proporciona una representación del entorno que le rodea y suministra la información necesaria para interactuar con éste.

Las redes de neuronas artificiales (RNA) son modelos computacionales paralelos que constan de unidades de proceso (neuronas) adaptativas y masivamente interconectadas. Son por tanto, procesadores distribuidos masivamente en paralelo para almacenar conocimiento experimental y hacerlo

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

disponible para su uso. Se basan en los siguientes supuestos: El procesamiento de información, ocurre en muchos elementos simples llamados unidades de proceso (o neuronas); las señales se transmiten entre las neuronas a través de conexión sinápticas; cada enlace de conexión entre dos unidades de proceso, tiene asociado un peso (llamado peso sináptico) que tiene un efecto multiplicador sobre la señal transmitida y cada unidad de proceso aplica a una función de activación (o transferencia) a sus señales de entrada para determinar su señal de salida.

Una red de neuronas artificiales está caracterizada según Díaz (2014) por su (a) arquitectura, estructura o patrón de conexiones entre las unidades de proceso, dinámica de la computación que expresa el valor que toman las unidades de proceso y que se basa en unas funciones de activación (o de transferencia) que especifican como se transforman las señales de entrada de la unidad de proceso en la señal de salida y (b) algoritmo de entrenamiento o aprendizaje, procedimiento para determinar los pesos de las conexiones. Una característica muy importante de estas redes, es su naturaleza adaptativa, donde el aprendizaje con ejemplos sustituye a la programación en la resolución de problemas.

Las RNA se parecen al cerebro en dos aspectos: (a) la red adquiere el conocimiento mediante un proceso de aprendizaje y (b) los pesos de las conexiones (pesos sinápticos) entre las unidades de proceso se utilizan para almacenar el conocimiento. El procedimiento utilizado para el proceso de aprendizaje se llama algoritmo de aprendizaje y permite modificar los pesos

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

sinápticos de la red neuronal para conseguir un objetivo deseado. Estas redes se llaman neuronales por estar inspiradas en la neurociencia, pero no pretenden ser buenos modelos de neuronas biológicas, se busca sobre toda su capacidad computacional.

Las propiedades RNA de acuerdo a McCulloch & Pitts (1943) son las siguientes: no linealidad, permiten la representación de aplicaciones o correspondencias entre las entradas y salidas; adaptabilidad, acomodan (adaptan) sus pesos sinápticos a los cambios del entorno; información contextual, el conocimiento viene representado por el estado de activación de la red neuronal. Cada neurona está afectada potencialmente por la actividad global de las otras neuronas de la red; tolerancia a fallos, si una neurona o un enlace de la red neuronal son dañados, la respuesta de la red probablemente no quedará afectada e implementación VLSI.

Al ser las redes masivamente paralelas, pueden conseguir rapidez de cómputo en la realización de ciertas tareas. Permiten la implementación usando la tecnología VLSI (very-large-scale-integrated) y conseguir aplicaciones, como el reconocimiento de patrones, procesamiento de señales y control en tiempo real.

Una de las características más importantes de las redes neuronales, es su capacidad de aprender interactuando con su entorno o con alguna fuente de información. El aprendizaje de la red, es un proceso adaptativo mediante el cual se van modificando los pesos sinápticos de la red para mejorar el comportamiento

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

de la red. Una las formas de clasificar según Haykin (1994) a los algoritmos de aprendizaje es por paradigma y reglas, como se muestra, a continuación.

Aprendizaje supervisado, en el que se dispone de un conjunto de patrones de entrenamiento para los que conocemos perfectamente la salida deseada de la red. Un objetivo para diseñar la regla de aprendizaje supervisada, podrá ser minimizar el error cometido entre las salidas (respuestas) de la red y las salidas (respuestas) deseadas. Para ello existe según Widrow y Lehr (1990) las reglas de aprendizaje basadas en la corrección del error, la regla de retropropagación del error en el caso del perceptrón y el algoritmo de mínimos cuadrados, muy utilizados en problemas de clasificación y predicción.

Aprendizaje no supervisado (competitivo o autoorganizado) en el que se dispone de un conjunto de patrones de entrenamiento, pero no vamos a conocer las salidas deseadas de la red que por sí misma buscará su comportamiento más adecuado, atendiendo a cierto criterio y encontrará estructuras o prototipos en el conjunto de patrones de entrenamiento. Como ejemplo se tiene a la regla de aprendizaje competitivo no supervisado (utilizada en problemas de agrupación de patrones y obtención de prototipos), la regla de Kohonen (1998) utilizada en reconocimiento e identificación de patrones y la regla de Hebb.

Aprendizaje por refuerzo, basado en un proceso de prueba y error que busca maximizar el valor esperado de una función criterio conocida como una señal de refuerzo. La idea de este paradigma surge en la psicología en relación con el estudio del aprendizaje en los animales. Si una acción supone una mejora en el

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

comportamiento entonces la tendencia a producir esta acción se refuerza y en caso contrario de debilita.

Por ello, se tiene un conjunto de patrones de entrenamiento y sus correspondientes señales evaluativas, que suelen ser valores -1 ó +1 (en lugar de sus respuestas deseadas como en el caso supervisado). Dicha señal evaluativa informa a la unidad entrenada sobre su comportamiento con respecto a la entrada recibida, es decir, evalúa la adecuación de su salida para dicha entrada, según Barto y col (1983).

Híbrido, algoritmos que mezclen ambos paradigmas. Las reglas de aprendizaje se refieren a la forma en la que se modifican los pesos de las redes para alcanzar su objetivo. En este caso se identifican cinco tipos básicos de aprendizaje:

Aprendizaje mediante corrección del error, técnicas que actualizan las redes en función del error cometido. Son características de los entrenamientos supervisados, ya que es en estos en los que se conoce las salidas asociadas a las entradas del conjunto de entrenamiento.

Aprendizaje basado en memoria. El fundamento teórico en este tipo de redes, es el de la búsqueda de casos análogos a los conocidos, llamado basado en memoria porque la red deduce de algunos casos nuevos a partir de casos ya aprendidos con anterioridad, modificando su memoria para albergar dichos nuevos casos.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Aprendizaje Hebbiano. Se apoya en la Ley de Hebb (1949) según Kempter y col (1999) la cual postula que si dos neuronas se activan a ambos lados de una sinapsis de forma síncrona y continua, dicha conexión queda reforzada.

Aprendizaje competitivo. En este tipo de aprendizaje, la neurona que se activa con una determinada entrada es la que queda reforzada, en ocasiones afectando su entorno vecino. Se basa en el principio biológico de que algunos cerebros (incluido el humano) separan determinados estímulos en parcelas, activándose unas u otras, en función del tipo de estímulo.

Híbridos. Categoría donde se engloban todos aquellos algoritmos que usan varias reglas de las anteriormente citadas.

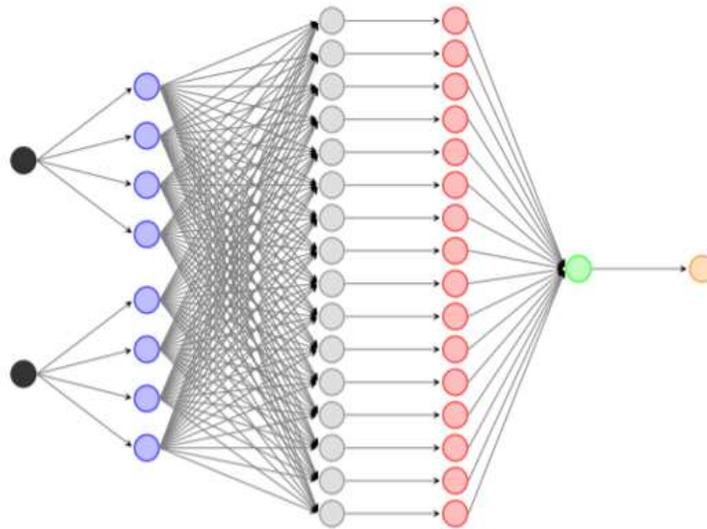


Figura 4.- Ejemplo de arquitectura Neuro-fuzzy para la evaluación de videojuegos. Arquitectura feed-forward

Razonamiento probabilístico de la incertidumbre

El razonamiento probabilístico engloba aquellas técnicas cuyo objetivo es la extensión de la lógica deductiva con los principios de la teoría de la probabilidad. Si bien los conceptos de incertidumbre y de probabilidad no son sinónimos, es cierto que existe cierta relación entre estos. La combinación entre ambas teorías es un intento de incorporar el manejo de la incertidumbre del mundo real a una herramienta para modelar relaciones.

Aunque en cierta manera pueda parecer similar al principio de la lógica difusa, difiere en la forma de tratar con la incertidumbre. La lógica difusa trata de modelar el proceso de inferencia, desconociendo a priori los grados de verdad o mentira de las sentencias. En el caso del razonamiento probabilístico, el modelo del problema se inspira en asignar probabilidades a los sucesos teniendo en cuenta eventos pasados similares (lo que sería equivalente al razonamiento humano) para intentar encontrar relaciones causa-efecto.

En el caso del razonamiento probabilístico, los problemas no son tanto la elección de los parámetros iniciales como sí lo son el tipo de parámetros. Los atributos usados en sus técnicas, suelen ser discretos, esto es, eventos o sucesos discretos los cuales son clasificados dentro de clases bien diferenciadas. Sin embargo, de acuerdo a Storr y col (2002) en el mundo real los atributos suelen ser de naturaleza continua y es precisamente ese salto (de atributos discretos a atributos continuos) donde la lógica difusa ha hecho avances a través de, por ejemplo, variables difusas.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Otras aplicaciones sobre técnicas de razonamiento probabilístico son las del uso de algoritmos genéticos para deducir la estructura de modelos. Por ejemplo, en el caso de las redes bayesianas en Larrañaga y col (1996) se usan con éxito algoritmos genéticos para la deducción de la red subyacente en el problema.

Reflexión final

Las técnicas que se emplean en la computación suave llevan muchos años aplicándose, demostrándose que a través de la hibridación de estas se pueden resolver problemas actuales, donde dependiendo del caso se puede llegar a tener un mayor éxito. Cabe destacar que, dichas técnicas dependen una de la otra, ya que su empleo de forma individual genera problemas y/o limitaciones que impiden en muchos casos su utilización.

La computación suave, refiere a una mezcla de distintos métodos que de una forma u otra cooperan desde sus fundamentos con el principal objetivo de aprovechar la tolerancia que conllevan la imprecisión y la incertidumbre, para conseguir manejabilidad, robustez y soluciones de bajo costo. Por ejemplo, en la combinación de la lógica borrosa, neurocomputación y razonamiento probabilístico, la primera se ocupa principalmente de la imprecisión y el razonamiento aproximado; la neurocomputación del aprendizaje y el razonamiento probabilístico de la incertidumbre y la propagación de las creencias.

De esta manera, el desarrollo de sistemas comprensibles y confiables sigue una modelación de caja gris según Casillas (2003) por la combinación de la modelación de caja blanca (garantizan comprensibilidad) y de caja negra

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

(confiabilidad). Precisamente en la actualidad, una de las herramientas más exitosas para desarrollar estos modelos es la lógica difusa.

La idea de los conjuntos difusos según Zadeh (1965) viene de la siguiente observación: las clases de objetos en la vida diaria, no tienen límites bien definidos. De allí que, la fuente de imprecisión sea la ausencia de criterios definidos rigurosamente sobre la membresía a clases, en lugar de la presencia de variables aleatorias. La noción de conjuntos difusos es completamente de naturaleza no estadística.

Por otro lado, la lógica difusa y los conjuntos difusos que se han desarrollado como una semántica para representar, manipular y utilizar la imprecisión presente en aplicaciones del mundo real; se han aplicado exitosamente en el desarrollo de los sistemas híbridos inteligentes según Chin-Teng y Lee (1996) y Jang, Sun y col (1997) debido a su simplicidad y similitud con el razonamiento humano.

En la actualidad la tendencia es desarrollar sistemas híbridos, como una etapa superior en el desarrollo de los sistemas basados en conocimiento, con la finalidad de obtener un producto que aproveche las ventajas de los enfoques que combina y minimice sus deficiencias. Como característica general, incorporan varios módulos neuronales y simbólicos, que interactúan para resolver problemas eficientemente.

La complementariedad de estos enfoques, se fundamenta además en el hecho de que dos módulos diferentes permiten modelar las habilidades cognoscitivas: el conexionista se usa para modelar el aspecto asociativo y el

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

simbólico el aspecto lógico. Por un lado, las redes neuronales artificiales facilitan el trabajo con información incompleta y brindan algoritmos poderosos de aprendizaje para crear la base de conocimiento, mientras que el enfoque simbólico favorece la representación explícita del conocimiento que hace posible la explicación.

En cuanto al razonamiento probabilístico, el principal problema que presentan sus técnicas es el de la representación del conocimiento dado que el aprendizaje de estas, se basa casi en exclusiva en relaciones causa efecto, para un sistema del cual se quisiera modelar su conocimiento, es necesario conocer de antemano cómo se comporta, lo cual es imposible en algunos casos.

REFERENCIAS

- Agaoglou y Timón (2018). **Descubrir el orden oculto en el caos**. Recuperado 10 julio 2020, de: <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/fisica/descubrir-el-orden-oculto-en-el-caos/>
- Aldana, M. (2011). **Redes Complejas: Estructura, Dinámica y Evolución**. Documento en línea. Disponible en: <https://www.fis.unam.mx/>. Consultado: 2020, mayo 16
- Álvarez, R. (2020) **El Impresionante Robot con Inteligencia Artificial 'Erica' será el primero en el mundo en protagonizar una película de ciencia ficción**. Disponible: <https://www.xataka.com.mx/robotica-e-ia/impresionante-robot-inteligencia-artificial-erica-sera-primero-mundo-protagonizar-pelicula-ciencia-ficcion>
- Argibay, P. (2013). **Metodología de la Investigación avanzada: introducción al estudio de los sistemas complejos y sus aplicaciones**. Buenos Aires: LBAK-IBME. Documento en línea. Disponible en: <https://www.hospitalitaliano.org.ar/>. Consultado: 2020, junio 22.
- Arnold, M., Urquiza, A. y Thumala, D. (2011). **Recepción del concepto de autopoiesis en las ciencias sociales**. *Sociológica (México)*, 26(73). Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-01732011000200004&lng=es&tlng=es
- Backus, J. (1977) Conferencia ACM Turing Award. Communications of the ACM, Volumen 21, Número 8. <http://www.cs.tufts.edu/~nr/backus-lecture.html>
- Bai-lin Hao (1988). Directions in Chaos. Volumen 2. World Scientific. Singapore
- Barabasi, L. (2003). **Biología de Red**. Nature 5, 101-113. Consultado: 2020, mayo 16.
- Barrat, A. y col (2004). **La arquitectura de redes complejas ponderadas**. Documento en línea. Disponible en: <https://www.researchgate.net/>. Consultado 2020, mayo 18.
- Barzanallana R.(2016) . Departamento Informática y Sistemas. Universidad de Murcia. Recuperado 10 julio 2020, de: <https://www.um.es/docencia/barzana/BIOGRAFIAS/Biografia-Edward-Lorenz.php>
- Barto, A G, Sutton, Richard S, & Anderson, C W. (1983). Neuronlike adaptive elements that can solve difficult learning control problems. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, 834–846.
- BBC (2019) **China condena a tres años de cárcel al polémico científico que realizó la primera modificación genética de bebés**. Disponible: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50948086>
- Bernardo A. (2013) Kirobo, el robot humanoide de Toyota. Disponible en: <https://hipertextual.com/2013/12/kirobo-robot-humanoide-iss>
- Bernal, C., Díaz, C. y Gutiérrez, C. (2017) **Probióticos y Prebióticos en Matrices de Origen Vegetal: Avances en el desarrollo de bebidas de frutas**. Revista Chilena de Nutrición. 44(4). Disponible:

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

- https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182017000400383&lng=es. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182017000400383>
- Bianconi, G. Pin, P. y Marsili, M. (2009). **Evaluar la relevancia de las características del nodo para la estructura de la red**. Documento en línea. Disponible en: <https://www.researchgate.net/>. Consultado: 2020, abril 20.
- BlueDot (2003) **Start Up y BlueDot Explorer**. Disponible: <https://bluedot.global/>
- Boccaletti, S. y col (2014). **La estructura y dinámica de las redes multicapa**. Documento en línea. Disponible en: <http://home.deib.polimi.it/>. Consultado: 2020, julio 5.
- Borjón, J. (2002). **Caos, orden y desorden en el sistema monetario y financiero internacional: el caso de México**. Editorial: Plaza y Valdés. México D.F. México
- Borner, K. y col (2007). Ciencia en Redes. Ciencia y Tecnología 41, 537-607. Consultado: 2020, abril 13.
- Briceño, E. (2011) **Una mirada a la transcomplejidad. Como ponencia en el seminario Organizaciones Transcomplejas** – junio 2011 / Consultado 09/07/2020 Disponible: <http://esenciatranscompleja.blogspot.com/2011/07/una-mirada-la-transcomplejidad.html>
- Cartín A y Ortíz, P. (2018) **Ventajas y desventajas del cultivo de carne in vitro: perspectivas desde la seguridad alimentaria**. Revista Médica Veterinaria, N° 36: 135-144, enero-junio. Disponible: doi: <http://dx.doi.org/10.19052/mv.5179>
- Casillas, J. C., O.; Herrera, F.; Magdalena, L. (2003). Interpretability Issues in Fuzzy Modeling, Springer.
- Cazau P. (1995). **La Teoría del Caos**. Buenos Aires. Recuperado 10 julio 2020, de: <http://www.uca.edu.sv/facultad/chn/c1170/Teoria%20del%20caos.pdf>
- Chin-Teng, L. y C. S. G. Lee (1996). Neural fuzzy systems: a neuro-fuzzy synergism to intelligent systems, Prentice-Hall, Inc.
- Colle, R. (1998). **Teoría del caos, cognitivismo y semántica**. Revista Latina de Comunicación Social. La Laguna (Tenerife). Recuperado 09 julio 2020, de: http://www.revistalatinacs.org/z8/latina_art24.pdf
- Contreras, R. (2017) **Servicios de Genética Médica. Situación actual y tendencias de Mercado**. Revista Cubana Genética Comunitaria. 11(2) Disponible: <http://revgenetica.sld.cu/index.php/gen/article/view/32>
- Coppo, J. (2010). **Teoría del caos y método científico**. Revista Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Volumen 21- Número 2, 157–167. ISSN: 1668–4834. Argentina. Recuperado 10 julio 2020, de: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/view/1949/1697>.
- Crutchfield, J. Farmer, D. y Shaw, R., (1986). "Chaos," Scientific American 255, diciembre, pp. 38-49:

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

- Darwin On Line (2009). Darwin's private papers. See also the many **Supplementary works**. "El Origen de las Especies" Sexta edición Austral –Espasa Libros Ediciones de la obra en la página web
- Diario Semana (2017) **El Robot Imperceptible a Simple Vista**. Disponible: <https://www.semana.com/gente/articulo/jia-jia-el-robot-humanoide-chino/512117>
- Díaz Álvarez, A. (2014). **Inteligencia Artificial y Soft Computing Teoría y Aplicaciones**. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos. Trabajo de grado para optar al título de Master Universitario en Ciencias y Tecnologías de la Computación.
- Elizalde, O. (2013). Aproximación de las Ciencias de la Complejidad, **Revista ULS** 61, 45-66. Colombia: Universidad de la Salle. Documento en línea. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/Consultado> 2020, mayo 15.
- Erdos, P. y Renyi, A. (1959). **Gráficos Aleatorios**. Publicaciones Matemáticas 6: 290–297. Consultado: 2020, abril 23.
- Euler, L. (1736). **Movimiento científico o mecánico analítico expuesto**. Consultado 2020, abril 23.
- Fernández M. (2016). **La ley del caos y el sueño del orden**. Recuperado 07 julio 2020, de: <https://www.ahorasemana.es/la-ley-del-caos-y-el-sueno-del-orden>
- Fogel, A. J. (2007), Artificial Intelligence through Simulated Evolution., John Wiley & Sons, Inc., New York
- Ford, J. (1983). "How Random is a Coin Toss?," Physics Today, Abril, p. 4.
- Fraser, A.S and D. Burnell (1970). Computer Models in Genetics, Mc. Graw Hill, New York, 1970.
- Fraser, A.S.(1960) Simulation of Genetic Systems by Automatic Digital Computers VI. Epistasis, Australian Journal of Biological Sciences,
- Friedberg, R.M (1958). A Learning Machine: Part I, IBM Journal of Research and Development
- Gallegos, M. (2005). **Algunas consideraciones epistemológicas sobre las teorías del caos y la complejidad**. XII Jornadas de Investigación y Primer Encuentro de Investigadores en Psicología del Mercosur. Facultad de Psicología. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Recuperado 10 julio 2020, de: <https://www.aacademica.org/000-051/27>
- García, C. (1993). **La Teoría de Caos: Algunas Implicaciones en el área de la Metodología en La Ciencia**. (Tesis de Maestría). México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- García, E. (2009) **Vida e inteligencia artificial**. ACIMED 19 (1). Disponible: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009000100006&lng=es
- Gleick, J. (1987). Chaos: The Making of a New Science. United States
- Girón, A. (2014). **Sincronización en Redes Complejas: Teoría y Aplicaciones**. Documento en línea. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/>. Consultado 2020, abril 23.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

- Guzmán J. (2014) **Cosmovisiones epistémicas de la investigación**. Artículo inserto en tecnología y transcomplejidad. Publicación de Memorias II jornada de la Red de Investigadores de la transcomplejidad REDIT. Disponible: <https://reditve.files.wordpress.com/2014/05/libro-evento-redit-2014.pdf>
- Hanson Robotics (2020) **Sophia 2020 Una visión para los robots que pueden ayudar a las personas**. Disponible: <https://www.hansonrobotics.com/sophia-2020-a-vision-for-robots-who-can-help-people/>
- Haykin, S (1994). Neural networks: a comprehensive foundation. Prentice Hall PTR.
- Hebb, D. (1949). The organization of behavior: A neuropsychological theory. LEA.
- Hecht-Nielsen, R. (1989). Theory of the backpropagation neural network. Pages 593–605 of: Neural Networks, 1989.
- Helmreich, S. (2000) **La vida artificial. Desacatos no.5**. Disponible: www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-050X2000000300008
- Hernández, G; Torres, L; Niño, L. Fundamentos de Neurocomputación. Recuperado:<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902771.pdf>
- Holland, J.H (1962) Outline for a logical theory of adaptive systems, Journal of the Association for Computing Machinery.
- Holland, J.H. (1975), Adaptation in Natural and Artificial Systems, Ann Harbor: University of Michigan Press.
- Holland, J.H (1989) Concerning efficient adaptive systems, in M. C.
- Holmes, P. y Moon F. (1979) "A Magnetoelastic Strange Attractor," Journal of Sound Vibrations 65, pp. 285-296.
- Informe Mundial sobre la Propiedad Intelectual (2019) **La innovación revolucionaria y el crecimiento económico OMPI** Disponible: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_944_2019.pdf
- Izquierdo, V. (2014). **Complejidad en Redes Complejas**. Documento en línea. Disponible en: <https://www.researchgate.net/>. Consultado: 2020. Junio 15.
- Jang, J.-S. R., C.-T. Sun y E. M (1997). Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence, Prentice-Hall, Inc.
- Keisner C. A. Tecnologías revolucionarias: robótica y P. I. (2016) **OMPI Revista** https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2016/06/article_0002.html
- Kempler, R., Gerstner, W., & Van Hemmen, J.L. (1999). Hebbian learning and spiking neurons. Physical Review E, 59(4), 4498.
- Kohonen, T. (1988). Self-organization and associative memory. Self-Organization and Associative Memory, 100 figs. XV, 312 pages. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. Also Springer Series in Information Sciences
- Koza J. R. (1992). Genetic Programming. Bradford Book, The MIT Press.
- Kuramoto, Y. (1975). **Simposio internacional sobre problemas matemáticos en física teórica**. 39: 420. Springer, Nueva York. Consultado 2020. Junio 30.
- Lacaste M. (2013). **Sobre La Teoría Del Caos**. Recuperado 10 julio 2020, de: <https://axonometrica.blog/2013/09/02/sobre-la-teoria-de-caos-2/>

- Lameda Monteroa, C. Torres Cruza, E. (2018). Lotfi Zadeh: The Genius Creator of Fuzzy Logic. Vol.12, No 2, Julio-Diciembre 127–133. Recuperado: <http://revistas.ucla.edu.ve/pcyt>
- Larrañaga, P; Poza, M, Yurramendi, Y; Murga, R.H., & Kuijpers, Cindy M. H. (1996). Structure learning of Bayesian networks by genetic algorithms: A performance analysis of control parameters. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 18(9), 912–926.
- León, R (2017) **La transversalidad de la robótica en la sociedad transcompleja**. Artículo inserto en “Ejes Transversales de la investigación transcompleja”. Publicación de Diálogos transcomplejos de la Red de Investigadores de la transcomplejidad REDIT Consultado: 08/07/2020 <https://es.calameo.com/read/00463414467e412115c6a>
- Luengo, E. (2016). El conocimiento complejo: método-estrategia y principios". En La emergencia de los enfoques de la complejidad en América Latina. **Desafíos, contribuciones y compromisos para abordar los problemas complejos del siglo XXI. Tomo I.** Rodríguez Zoya, L. (coord.) Buenos Aires: Comunidad Editora Latinoamericana (Colección Pensamiento complejo del sur).
- Luévano, D. (2004). **Teoría del caos y sus posibles implicaciones en psicología**. Enseñanza e Investigación en Psicología, 9 (2), 389-402. Xalapa, México: Consejo Nacional para la Enseñanza en Investigación en Psicología A.C.
- Madrigal J., Ayala S., Chávez L. y Silva J. (2017). La Teoría del Caos y de la Complejidad en las Empresas Agrícolas Productoras de Berries. **Revista de Administración y Finanzas**. Recuperado 07 julio 2020, de http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Administracion_y_Finanzas/vol4_num11/Revista_de%20Administraci%C3%B3n_y_Finanzas_V4_N11_6.pdf
- Maldonado C. y Gómez, N. (2011) **El mundo de las Ciencias de la Complejidad**
- Maldonado, C. (2012). **Las Revoluciones Científicas y los Estudios CTS como Unidad de Ciencia: Sus alcances para América** No. 7, UTEM, en: <http://thelos.utem.cl/>. Disponible: 2020, abril 15.
- Maldonado, C. (2014) **Significado e Impacto Social de las Ciencias de la Complejidad**. Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/263652414>
- Maldonado, C. y Gómez N. (2010) **El Mundo de las Ciencias de la Complejidad. Una investigación sobre qué son, su desarrollo y sus posibilidades**. Disponible: https://www.ugr.es/~raipad/investigacion/excelencia/seminarioXV/2011_el_mundo_de_las_ciencias_de_la_complejidad.pdf
- Maldonado, C. y Gómez, N. (2010). **El mundo de las ciencias de la complejidad un estado del arte**. Bogotá: Editorial Universidad del Rosario.
- Martínez, C. (2018). **Teoría del caos y estrategia empresarial**. Tendencias, 19(1), 204-214. Recuperado 10 julio 2020, de: <https://doi.org/10.22267/rtend.181901.94>

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

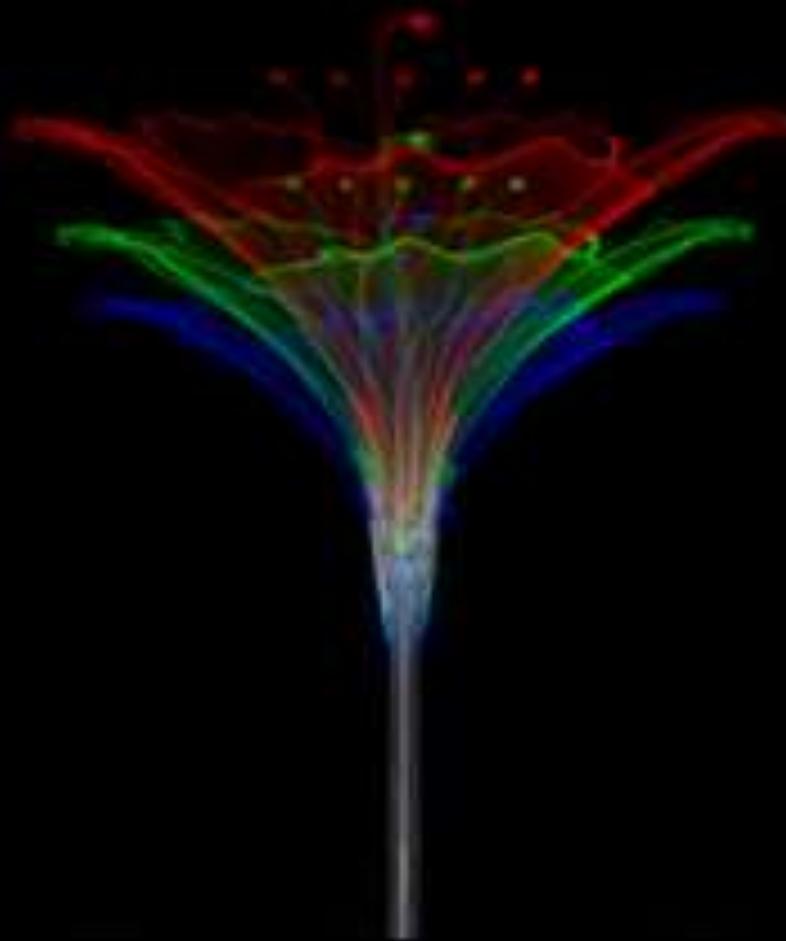
- Martinetz, T; Schulten, K. (1991). A “neural-gas” network learns topologies. University of Illinois at Urbana Champaign.
- McCulloch, W.S; Pitts, W.(1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin of mathematical biology, 5(4), 115–133
- Méndez Rodrigo (2020) COVID – 19: **el rol de la Robótica en la contingencia actual**. Disponible en <https://noticias.usm.cl/2020/03/30/covid-19-el-rol-de-la-robotica-en-la-contingencia-actual/>
- Merlo, R. (2007). **Redes Sociales**. Documento en Línea. Disponible en: <http://grupal.reletran.org/>. Consultado 2020, mayo 16.
- Milgran, S. (1963). El Problema del Pequeño Mundo. **Psicología Hoy**, 60-67. Documento en línea. Disponible en: <https://www.researchgate.net/>. Disponible: 2020, junio 5.
- Molina, M. y Rivero, D. (2012). Redes Complejas. Teoría y Práctica. **TLATEMOANI 11**. Revista Académica de Investigación. Documento en línea. Disponible en: <https://econpapers.repec.org/>. Consultado: 2020, abril 16
- Mori H. y Yamada Y. (2007) An Efficient Multi-objective Meta-heuristic Method for Distribution Network Expansion Planning, Power Tech, IEEE Lausanne
- Moreno, J. (1953). **La teoría en redes sociales**. New York: Beacon Press.
- Mulet, R. (2006). Redes complejas. Una perspectiva simple. Documento en línea. Disponible en: <http://www.revistacubanadefisica.org/Consulta>: 2020, junio 15.
- Nagurney, A. y Qiang, Q. (2007). **Una medida de eficiencia de red para redes congestionadas**. Documento en línea. Disponible en: <https://www.researchgate.net/>. Disponible: 2020, mayo 16.
- OMPI (2017) **La historia de la inteligencia artificial en las patentes**. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. Disponible en: https://www.wipo.int/tech_trends/es/artificial_intelligence/story.html
- Peña M, R (2006). Historia de los algoritmos y de los lenguajes de programación. De Euclides a Java. Editores: Nivola Libros y Ediciones, S.L. España
- Pidal, M. (2009). **La teoría del caos en las organizaciones**. Cuadernos Unimetanos.18,29-33. Recuperado 08 julio 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3998894>
- Picó, M. (2009) **Darwin sabía la importancia de explicar el origen de la vida**. Disponible: <https://www.levante-emv.com/comunitat-valenciana/2009/09/19/darwin-sabia-importancia-explicar-origen-vida/632719.html>
- Price, D. (1965). Redes de Trabajo Científico. **Ciencia** 45, 510-515. Consultado: 2020, junio 12.
- Prigogine, I. (1985). ¿Tan solo una ilusión? Una exploración del caos a orden. Tusquets, Barcelona.
- Prigogine, I. (1998). ¿El fin de la ciencia? En D. Freid Schnitman (comp.) Nuevos Paradigmas, Cultura y Subjetividad. Buenos Aires: Paidós
- Raya, A. (2019) **Neuronas artificiales, los implantes cerebrales están más cerca**. El Español. Disponible:

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

- https://www.lespanol.com/omicrono/hardware/20191204/crean-primeras-neuronas-artificiales-implantes-cerebrales-cerca/449455356_0.html
- Rodella, F. (2019) **Una Experiencia Alucinante": Hablamos con el Primer Beta Tester de Harmony, La Muñeca Sexual con "Inteligencia Artificial"**. Disponible: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/experiencia-alucinante-hablamos-primer-beta-tester-harmony-muneca-sexual-inteligencia-artificial-1>
- Rubio-del Río A. (2018). **Generación y Codificación de Imágenes Usando el Paradigma de la Programación Genética**. PFC162, Dpto. Lenguajes y CC.CC., Univ. Málaga.
- Salazar, O. (2017). **Mirada de la gestión moderna desde la teoría del caos y la transdisciplina**. Universidad & Empresa, 19(33), 137-161. Doi: <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.5234>
- Santiferri, C (2020). **Desconfinamiento Covid 19**. Recuperado: <https://santiferri.com/inteligencia-artificial/la-inteligencia-artificial-y-el-desconfinamiento-del-covid-19-4a-parte-disenando-un-sistema-de-aprendizaje-automatico-del-covid-19/>
- Schavino N. (2017) **¿Con que se come la Transcomplejidad?** Red de Investigadores de la Transcomplejidad disponible en: <https://reditve.wordpress.com/2017/10/15/con-que-se-come-la-transcomplejidad/>
- Schnitman, D. (1998). **Ciencia, cultura y subjetividad**. En D. Freid Schnitman (comp.) Nuevos Paradigmas, Cultura y Subjetividad. Buenos Aires: Paidó
- Schavino, N y Villegas, C (2010). **De la teoría a la praxis en el enfoque integrador transcomplejo**. Espacio Iberoamericano del Conocimiento. Congreso Iberoamericano de Educación Metas 2021. Buenos Aires, Argentina, 13-15 de septiembre de 2010 disponible en: https://www.adeepra.org.ar/congresos/Congreso%20IBEROAMERICANO/EIC/R0721_Schavino.pdf
- Schwefel, H.P (1981) Numerical Optimization of Computer Models, Wiley, Chichester, UK
- Siarry y Michalewicz Z (2008) Advances in Metaheuristics for hard optimization. Natural Computing Springer
- Silva M, Stella M, Schavino N y Zaá J. (2017) **La transversalidad en la producción de conocimientos transcomplejos** en "Ejes Transversales de la investigación transcompleja". Publicación de Diálogos transcomplejos de la Red de Investigadores de la transcomplejidad REDIT. Compilador disponible en: <https://es.calameo.com/read/00463414467e412115c6a>
- Storr, Hans-Peter, Xu, Y, & Choi, J. 2002. A compact fuzzy extension of the Naive Bayesian classification algorithm. Pages 172–177 of: Proceedings InTech/VJFuzzy
- Strogatz, S. (2001). **Explorando Redes Complejas**. Documento en línea. Disponible en: <https://www.researchgate.net/>. Consultado: 2020, junio 15.

ALGO MÁS DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

- Stuetzle (2004), Optimización de enjambre de partículas (Eberhart et al., 2001), optimización de colonias de hormigas
- Tang, Y; Pan, W; Li, H, & Xu, Yang. (2002). Fuzzy Naive Bayes classifier based on fuzzy clustering. Pages 6–pp of: Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference on, vol. 5. IEEE.
- Tecnología y Diseño de Singapur (2020) **Predictive Monitoring of COVID-19**. Disponible: <https://ddi.sutd.edu.sg/>
- Thunberg, S., y Ziemke, T. (2020). **¿Están las personas listas para encuentros inesperados con Robots Sociales?**. Taller en la Conferencia Internacional ACM / IEEE 2020 sobre Interacción Humano-Robot. Disponible: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-164958>
- Trovato, G. Religión y robots: hacia la síntesis de dos extremos. En la Revista Internacional de Robótica Social, p. 1–18, mayo 2019.
- Velilla, M. y col (2002) **Manual de Iniciación Pedagógica al Pensamiento Complejo**. Fundamento Corporación para el desarrollo Complexus
- Ventura, D. (2019). **Fractales: qué son esos patrones matemáticos infinitos a los que se les llama "la huella digital de Dios"**. BBC Mundo. Recuperado 10 julio 2020, de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50604356>
- Villanueva M. y Rebolledo M. (2011) **Transversalidad: la teoría en la práctica**. Fedeupel; Caracas, Venezuela
- Villasmil J., y Gómez, N. (2012) **Vida Artificial y Sistemas Complejos**. En: Maldonado (edit) Derivas de complejidad. Fundamentos científicos y filosóficos. Universidad del Rosario. Disponible: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2012-Vidaartificialysistemascomplejos%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2012-Vidaartificialysistemascomplejos%20(1).pdf)
- Villegas, C. (2013). **La Educación y los estudios de ciencia, tecnología y sociedad (CTS) en el marco de la Transcomplejidad**. Transperspectivas Epistemológicas Educación, Ciencia y Tecnología. Venezuela. REDIT
- Von Neumann, J. (1959) "Zur theorie des gesellschaftsspiele" en A. Tucker and R. Luce, editores, Contributions to the Theory of Games, IV. Princeton University Press. Inicialmente publicado en 1928. Consultado el 13 de julio de 2020.
- Watts, D. (1999). **Seis grados de separación: la ciencia de las redes en la era del acceso**. Barcelona: Paidós Yovits, G. T. Jacobi and G. D. Goldstein, eds., Self-Organizing Systems Spartan Books, Washington D.C.
- Widrow, B., & Lehr, M.A. (1990). **30 years of adaptive neural networks: Perceptron, madaline, and backpropagation**. Proceedings of the IEEE, 78(9), 1415–1442.
- Zadeh, L.A. (1983). A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. Computers & Mathematics with Applications, 9(1), 149–184.
- Zadeh, L.A. (1994). Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. Communications of the ACM, 37(3), 77–84. 218 [Zadeh, 1965] Zadeh, Lotfi A. 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, 8(3), 338–353.



Algo Más de CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

2020

