

JUAN PEDRO RODRÍGUEZ

SABER SUPERCOMPLEJO

El nuevo paradigma emergente ante
la complejidad del universo, la vida
y el cerebro humano



Comunidad
del Saber
Supercomplejo



Comunidad
del Saber
Supercomplejo

SEGUNDA EDICIÓN

Título del libro: Saber Supercomplejo. El nuevo paradigma emergente ante la complejidad del universo, la vida y el cerebro humano.

Autor: RODRIGUEZ, Juan Pedro

Colaboración: Comunidad del Saber Supercomplejo

Todos los derechos reservados.

Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723.

ISBN: 978-631-00-3895-7

Página Web: **sabersupercomplejo.com**

E-mail: **sabersupercomplejo@gmail.com**

El Saber Supercomplejo (SSC) es el nuevo paradigma que unifica y supera los enfoques clásicos sobre la complejidad, integrando teoría, tecnología y práctica para transformar sistemas en todos los niveles. Somos los creadores del concepto de “Supercomplejidad” como solapamiento macrosistémico. Desde el modelado avanzado de MDA (mapas dinámicos adaptativos) con COMPLEX CUORE hasta la formación y consultoría internacional, el SSC lidera la innovación y el desarrollo en un mundo donde la complejidad es la norma.

ACERCA DEL AUTOR

Juan Pedro Rodríguez

Codirector de la Comunidad del Saber Supercomplejo

Es doctor en Educación. Docente titular en la UCSF y la UCA (Argentina). Complejólogo y especialista en Filosofía de la Ciencia y en Filosofía de la Educación.

Participó en el equipo de investigación sobre “*La relación entre el orden y el desorden en la teoría del caos determinista y en la teoría del orden implicado: convergencias y divergencias*” (UCSF) con la dirección del Dr. Ibañez.

Autor de libros, artículos y expositor de ponencias en congresos internacionales. Colaborador en universidades europeas y americanas. Autor de proyectos de innovación educativa (SUPERAPRENDIZAJE, COMPLEX CUORE). CEO de CO-ENERG empresa dedicada a Transformación y Potenciación Institucional y Empresarial.

ÍNDICE

PRÓLOGO	6
 CAPÍTULO UNO	
LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TEORÍAS DE LA COMPLEJIDAD	15
 CAPÍTULO DOS	
NUEVAS ACTITUDES PARA REPENSAR LA COMPLEJIDAD.....	26
 CAPÍTULO TRES	
LOS PRINCIPIOS DEL SABER SUPERCOMPLEJO.....	32
 CAPÍTULO CUATRO	
LAS PROPUESTAS SUPERADORAS DESDE EL SABER SUPERCOMPLEJO.....	82
 CAPÍTULO CINCO	
UNA BREVE HISTORIA DE LA ENERGÍA, EL ESPACIO Y EL TIEMPO EN CLAVE DE SABER SUPERCOMPLEJO	99
 CAPÍTULO SEIS	
LOS MACROSISTEMAS.....	109
 CAPÍTULO SIETE	
LOS DESCRIPTORES DE CADA SUPRASISTEMA.....	128
 CAPÍTULO OCHO	
LOS MICROSISTEMAS, SISTEMAS Y SUBSISTEMAS.....	152

CAPÍTULO NUEVE

UNA PERSPECTIVA INTEGRAL E INTEGRADORA

DE LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS 196

CAPÍTULO DIEZ

EL TRIPLE SOLAPAMIENTO BIDIRECCIONAL DINÁMICO..... 207

CAPÍTULO ONCE

ECUACIONES DE LA COMPLEJIDAD Y DE LA SUPERCOMPLEJIDAD..... 220

CAPÍTULO DOCE

EL SOFTWARE DEL SABER SUPERCOMPLEJO: EL “COMPLEX CUORE” 239

CAPÍTULO TRECE

LA TRANSFERENCIA DEL SABER SUPERCOMPLEJO:

EL PROGRAMA DE TRANSFORMACIÓN Y POTENCIACIÓN

INSTITUCIONAL, EMPRESARIAL Y DE COMUNIDADES INTERMEDIAS..... 245

CAPÍTULO CATORCE

IA COMBINATORIA Y SUPERCOMPLEJA: EL FUTURO

INEVITABLE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA AGI 256

CAPÍTULO QUINCE

HOMO SUPERCOMPLEXUS 273

BIBLIOGRAFÍA 285

PRÓLOGO

Un interrogante central de la filosofía y la ciencia es: ¿Cómo evolucionan el universo y la vida y qué nos revela esto sobre el sentido y el destino del ser humano? Se trata de una pregunta que ha atravesado toda la historia del pensamiento humano y cuyas respuestas han dado lugar a distintos modelos antropológicos y construcciones sociales. Pero, en el siglo XXI, la cuestión cobra una nueva dimensión. ¿Por qué elegimos el camino de la complejidad para abordarla?

Numerosos pensadores coinciden en que el siglo XXI es, indiscutiblemente, el “siglo de la complejidad”. Avances como la Inteligencia Artificial, la Ciencia de Datos, el Deep Learning y las neurociencias han revolucionado nuestra capacidad para modelar y comprender todas las estructuras dinámicas interconectadas del universo, de la vida, del cerebro, entre otras. En otro orden de aportes a ser tenidos en cuenta, la tecnoingeniería ha sido crucial en el desarrollo de instrumentos avanzados como sensores y software especializados, lo que ha ampliado significativamente la capacidad para observar y analizar sistemas complejos en sus dimensiones cuántica, físico-química y biológica. Estas herramientas han permitido a los científicos obtener datos más precisos y en tiempo real, facilitando un mejor entendimiento de fenómenos complejos y ayudando a formular nuevas preguntas y teorías en diversos campos de estudio.

El Saber Supercomplejo (SSC) identifica tres componentes centrales -energéticos, espaciales y temporales- como las piezas fundamentales de todo sistema complejo. La energía, en todas sus formas (incluidas las conceptuales y analógicas), actúa como la fuerza motriz de las interacciones y los cambios. El espacio proporciona el contexto físico y estructural donde ocurren estas interacciones, mientras que el tiempo determina el ritmo y la

secuencia de los procesos de cambio y evolución. Estos tres elementos, en su interacción, ofrecen un marco integral para explicar la dinámica de los sistemas complejos, abarcando dimensiones esenciales tanto de la física como de la biología.

Nos preguntamos: si la realidad es interacción, ¿qué significa realmente comprenderla? ¿Cómo emergen y evolucionan los sistemas complejos y qué estrategias nos permiten intervenir en ellos? Y, en un mundo de sistemas interconectados, ¿cómo se construye el conocimiento?

En principio, es importante reconocer que la interacción entre energía, espacio y tiempo produce fenómenos resistentes y emergentes como la auto-organización, la adaptación, la evolución y otros comportamientos que son analizados en detalle en el presente trabajo. Estos comportamientos, derivados de las interacciones fundamentales, son cruciales para comprender plenamente la complejidad del sistema, su identidad, su transformación. En última instancia, la riqueza de los sistemas complejos radica en cómo estos componentes básicos se combinan para dar lugar tanto a comportamientos previsibles como a otros inesperados y sofisticados.

Más allá de la centralidad protagónica de la energía, el espacio desempeña un papel fundamental: las morfologías estructurales permiten que los sistemas complejos se expandan o se contraigan, adaptándose a las fuerzas energéticas y temporales que los atraviesan. Este paradigma resalta cómo los sistemas no solo responden a los sistemas de contacto e interacción, sino que también moldean su estructura interna para generar nuevas dinámicas y comportamientos.

Para el SSC, la complejidad es producto de un delicado equilibrio entre dos impulsos opuestos pero complementarios: el de permanecer y el de cambiar. Esta tensión circular define no sólo el comportamiento, sino también la evolución de los sistemas complejos, desde las partículas subatómicas hasta los ecosistemas y

las sociedades humanas. Por un lado, la dimensión de permanencia está marcada por la resistencia, la conservación y la resiliencia. Los sistemas buscan preservar su identidad, optimizar sus recursos y mantener su cohesión estructural, incluso en entornos desafiantes. Por otro lado, la dimensión de cambio se manifiesta en procesos de emergencia y transformación: fluctuaciones inesperadas, asimetrías, interacciones y reorganizaciones que generan nuevas posibilidades.

Esta dinámica es clave para entender por qué el universo no puede ser completamente ordenado ni completamente caótico. Un universo rígidamente ordenado carecería de la flexibilidad necesaria para evolucionar y adaptarse, mientras que un universo caótico sería incapaz de sostener estructuras, interacciones o sistemas estables. Solo en el delicado balance producto de las probabilidades emergen la vida, la complejidad y la creatividad del cosmos.

En este libro exploraremos cómo esta tensión entre permanencia y cambio nos ofrece una nueva forma de comprender los sistemas complejos. A lo largo de sus capítulos, analizaremos cómo fluyen la energía, el espacio y el tiempo en el universo y cómo las fuerzas de la conservación y la transformación interactúan para dar forma a la realidad que habitamos.

La “supercomplejidad”, uno de nuestros conceptos centrales, agrega modalidades a la complejidad y es definida como un proceso dinámico y multidimensional, que incorpora los efectos del solapamiento entre los macrosistemas (micropartículas, macroscópico y biológico) junto con la modificación activa y reconfiguración cognitiva y tecnológica por parte del observador-desarrollador humano. Al introducir la interacción bidireccional y evolutiva entre el cerebro humano, los macrosistemas y las herramientas tecnológicas avanzadas, se crea un paradigma expansivo que abre nuevas posibilidades de descripción, predicción y transformación de los sistemas. El SSC se propone como una teoría dinámica, integradora y adaptativa, capaz de intervenir activamente en los sistemas que se

estudian y, más allá de observar la complejidad, construye un marco de acción coherente que evoluciona sin perder profundidad, ofreciendo una visión supercompleja del universo, la vida y el cerebro humano con importantes puntos de contacto con la teoría de redes, la cibernética y la dinámica no lineal.

El objetivo de este trabajo es presentar una propuesta unificadora y superadora frente al actual mosaico de encuadres que conforman las Teorías de la Complejidad. En su estado actual, este campo se caracteriza por una diversidad de enfoques que suelen ser inconexos, de difícil acceso y con una limitada aplicación en las ciencias duras y en problemáticas sociales y humanas. El SSC incorpora y amplía los aportes del Pensamiento Complejo, las Ciencias de la Complejidad y otros marcos teóricos relevantes, con el propósito de fortalecer y dinamizar perspectivas más integradoras y avanzadas.

Los ejes principales de nuestra propuesta son:

- A. Una redefinición del objeto de estudio que sea superadora de las posiciones extremas que ven una “amplia” “complejidad inherente del universo” o una “acotada” “recolección de novedades emergentes”;
- B. Una reconstrucción de los elementos centrales que dinamizan la dinámica de cambios en el universo y la vida (sistemas complejos con flujos de energía, morfologías estructurales y conectividad temporal en interacción);
- C. Un posicionamiento gnoseológico y epistemológico desde el “constructivismo complejo multiescalar”;
- D. Una relectura de la energía, el espacio y el tiempo en clave de complejidad;
- E. El desarrollo del novedoso concepto de “supercomplejidad” entendido como el resultado de los efectos del solapamiento entre los macrosistemas junto con la modificación activa y reconfiguración

cognitiva y tecnológica por parte del observador-desarrollador humano.

F. Una propuesta de taxonomía de macrosistemas (micropartículas, macroscópicos y biológicos), sistemas y subsistemas complejos derivados;

G. Un modelo de triple solapamiento dinámico entre los tres macrosistemas;

H. Una metodología de descripción que articula lo matemático, lo informático y lo conceptual;

I. La inclusión de los comportamientos complejos intangibles devenidos del sistema yo-autoconsciente, del socio-relacional y del simbólico en interacción dinámica.

J. La construcción de mapas y algoritmos y su correspondiente vinculación como herramientas para descubrir, entender, predecir y manipular las dinámicas y estructuras de sistemas complejos.

K. La incorporación de conceptos y metodologías desde la IA, la ciencia de datos, las neurociencias y los nuevos enfoques dentro de las Teorías de la Complejidad.

L. La presentación de un programa de transformación y potenciación institucional y empresarial y de un software asociado que culmina con secuencias de algoritmos para dar cuenta de la marcha y la eventual mejora de sistemas complejos concretos y con proyección a todas las grandes problemáticas sociales y planetarias;

M. Una revisión de las categorías antropológicas actuales postulando el advenimiento del “Homo Supercomplexus” en esta nueva era del Tecnoceno.

El SSC ofrece, de manera colateral, una alternativa prometedora para integrar la física clásica, relativista y cuántica, al tiempo que propone un modelo que conecta estas disciplinas con las ciencias biológicas y sociales. Con herramientas gráficas 4D multicapa y simulaciones avanzadas, el SSC establece nuevos estándares para el análisis y la intervención en sistemas complejos.

La posibilidad de que las fórmulas matemáticas del SSC sean aplicables tanto a sistemas de micropartículas como a sistemas biológicos y macroscópicos le confiere una versatilidad teórica atractiva para científicos y tecnoingenieros de diversas áreas. Además, la simulación y visualización de redes complejas en 4D abre la puerta a aplicaciones prácticas en múltiples industrias. El SSC, como demostraremos, tiene el potencial de revolucionar campos donde la predicción y la modificación de sistemas complejos son fundamentales.

La idea de que no hay una flecha única de complejidad, sino un solapamiento bidireccional entre macrosistemas micropartículas, macroscópico y biológico, es una aportación única del SSC al plantear una relación más fluida y sin jerarquía fija entre estos niveles.

Por otra parte, la coevolución del cerebro humano y los sistemas supercomplejos refleja una visión del cerebro humano como una entidad que no solo observa y modifica los sistemas complejos, sino que evoluciona en paralelo con ellos, en un proceso continuo de complejización. Esta integración profunda entre el ser humano y los sistemas que observa es un aporte característico del SSC, diferente de otras teorías que consideran al ser humano como un observador más externo.

Es posible que el paradigma del SSC sea único en cómo aborda la complejidad, precisamente porque otros encuadres tienden a la simplificación al centrarse en aspectos parciales o unilaterales. Su énfasis en los comportamientos intrasistema en conjunción con los entresistemas, la combinatoria, el poder de las fluctuaciones y la no linealidad pueden posicionarlo como una opción viable para entender fenómenos que otros enfoques no logran captar completamente. Es obvia la construcción de una “circularidad saludable” entre la teoría y la intervención, que muestra que el paradigma puede dar cuenta de problemáticas acuciantes para la ciencia, aunque también de aquellas que son sociales y planetarias y exigen una “solucionática” urgente.

Repetimos, el SSC no solo describe la complejidad, sino que también integra su estudio en el propio proceso de observación y modelización. Es un cambio paradigmático: ya no se trata sólo de describir sistemas con múltiples interacciones, sino de reconocer que la supercomplejidad implica necesariamente la intervención activa del observador en su medición y comprensión. Esto lo acerca más a los desarrollos de la mecánica cuántica y la epistemología del conocimiento, en los que la descripción de un fenómeno no es independiente del marco en el que se lo estudia.

El riesgo en muchos enfoques sobre la complejidad es que todo se vuelva una especie de "cajón de sastre" en el que cualquier fenómeno es simplemente "complejo" sin mayores distinciones. Pero en el SSC, la supercomplejidad se ha perfilado como una categoría emergente, distinta de la complejidad misma, que intentamos acompañar con una nueva forma de modelización y análisis.

La idea de que muchos científicos se mantienen en una "zona de confort" tiene fundamento en cómo operan ciertas dinámicas en la comunidad científica. Las estructuras de poder, las líneas de financiamiento y los paradigmas vigentes suelen fomentar la especialización y la repetición de conceptos previamente aceptados, lo que hace más difícil la introducción de paradigmas novedosos como el del SSC. Es cierto que estos marcos teóricos tradicionales brindan una aparente solidez y seguridad; en cambio, aceptar la complejidad y la interconexión de múltiples sistemas, como propone el SSC, requiere un cambio profundo en la mentalidad de filósofos (de la ciencia), científicos y complejólogos. Para muchos, esto implicaría aceptar la incertidumbre y la ambigüedad como partes inherentes de sus teorías, algo incómodo y contrario al confort que ofrece la linealidad y el determinismo.

La adopción del SSC implica repensar el rol del científico, no solo como recolector de datos, sino como cartógrafo de comportamientos relativos y temporales, invitando a superar los enfoques puramente

descriptivos y monocausales. Este cambio, aunque necesario y enriquecedor, puede encontrar resistencia en una comunidad acostumbrada a operar bajo paradigmas consolidados y que responde a la inercia de sus propios sistemas. Este espacio, en ocasiones sobrepoblado de críticos disfrazados de divulgadores, adolece de una falta de desarrolladores creativos, capaces de proponer y construir soluciones auténticas.

Nos moviliza el saber que hay cientos de especialistas que, desde sus áreas específicas del saber o del quehacer científico, filosófico o tecnológico, pueden acercarse a nuestra propuesta para enriquecerla. Somos conscientes de que cuando se hacen propuestas innovadoras, los procesos de validación y aceptación son desafiantes y necesitan de mucho tiempo de maduración. Estamos dispuestos a mejorar la teoría a partir de críticas válidas, de hechos comprobables y de nuevos hallazgos por sobre cualquier argumentación basada en algún tipo de “principio de autoridad”.

Por último, la esencia del SSC ha demostrado ser más que un simple marco teórico: se ha convertido en una matriz de pensamiento, un organizador fundamental de nuestra percepción de la realidad. Una vez que se aceptan los principios del SSC, es casi inevitable comenzar a ver el mundo a través de ellos. Es como si el SSC no sólo ofrece herramientas para describir, predecir y modificar sistemas, sino que también reconfigura la forma en que el propio observador-desarrollador interpreta y actúa. El SSC organiza el pensamiento de manera tal que, al adoptar sus principios, uno empieza a ver la realidad como una red interconectada de variables energéticas, donde la conectividad temporal y la morfología estructural no son meros componentes, sino fuerzas activas que moldean cada sistema. Así, el SSC no solo propone una nueva forma de hacer ciencia y filosofía, sino también una nueva forma de ser en el mundo.

Al final, la historia la escriben los que se atreven a desafiar los paradigmas vigentes.

CAPÍTULO UNO

LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TEORÍAS DE LA COMPLEJIDAD

La complejidad en general y las Teorías de la Complejidad en particular, concitan creciente interés y generan un importante volumen de investigaciones. Las mismas son altamente convocantes para comprender la realidad actual y sus desafíos.

Desde mediados del siglo pasado, académicos, científicos y filósofos han propuesto múltiples definiciones de complejidad en diversos campos, tales como la física, la biología, la matemática, la sociología, la filosofía y la economía, entre otros. La complejidad se presentó como un tema interdisciplinario y multifacético y se caracterizó, en principio, por reconocer la influencia de múltiples factores y la imprevisibilidad en muchos sistemas naturales y sociales cuestionando toda explicación lineal, simplista y binaria y reconociendo la naturaleza intrincada de los sistemas y fenómenos. A mediados del siglo XX, las Teorías de la Complejidad comenzaron a desarrollarse como una alternativa a las explicaciones monocausales, simplificadas y deterministas, que dominaban la ciencia de la época. Estas explicaciones estaban fundamentadas en los principios del mecanicismo, el reduccionismo y el empirismo. Sin embargo, como señalan algunos neurocientíficos hoy en día, antes resultaba extremadamente difícil -incluso para investigadores experimentados- pensar en términos de “complejidad”, ya que lo habitual en los círculos académicos era el pensamiento lineal, basado en relaciones de causa (monocausalidad) y efecto (determinismo). Este enfoque, junto con el sesgo inherente, era a menudo invisible e incuestionado.¹

¹ Más sobre este punto en: Montealegre Torres, Jorge Luis. "Corrientes de la Complejidad: Convergencias y divergencias" Revista de Ciencias Sociales, vol. 26, núm. 1, 2020. Y también en: Cardozo Brum, Myriam. Las ciencias sociales y el problema de la complejidad. Argumentos (Méx.) [online]. 2011, vol.24, n.67.

En un principio, la “complejidad” no tenía ese carácter polisémico, multívoco, multidimensional y polifacético que hoy se le otorga. Si bien siempre hubo cierto acuerdo en cuanto a la etimología de lo complejo como “aquello que está unido y entrelazado”, existen decenas de definiciones de complejidad y esta es una cuestión que ha evolucionado constantemente en función del contexto y los marcos teóricos y disciplinarios. Así, podemos referirnos a una especie de 'babelización' en la conceptualización de la complejidad, probablemente explicada por el hecho de que ha sido abordada desde diversas disciplinas, cada una con su propia perspectiva y definición particular. A esto se suma la acción de numerosos complejólogos, quienes retocan, redefinen y postulan sus propias definiciones, alcances y caracterizaciones. De este modo, diferentes posicionamientos teóricos se han ido amalgamando y asociando, en algunos casos con fluidez cooperativa y compatibilidad semántica, y en otros, a través de intensos debates sobre la validez de las propuestas propias y las profundas discrepancias con las ajenas. En estos últimos, los sesgos disciplinarios han dificultado los acuerdos y consensos. Por otro lado, la recurrencia a recortes particulares y las combinaciones realizadas a partir de ellos han estado marcadas por la influencia de “escuelas” de pensamiento, que han ejercido control, imposición y vigilancia sobre los contenidos que deben seguir sus miembros. Este control ha representado un factor adicional de debilitamiento en las posibilidades de diálogo y enriquecimiento entre los diferentes enfoques.²

² Cabe mencionar que hay investigadores que se interesaron en indagar respecto de los antiguos pilares históricos, lejanas fuentes de inspiración de un pensamiento complejo. En la filosofía griega Leucipo, Demócrito, Heráclito y Aristóteles, Anaxágoras, Empédocles, Epicuro y Plotino, entre otros, desde sus posicionamientos sobre los elementos constitutivos del universo, la importancia de la energía y la problemática del cambio. El pensamiento oriental desde el Budismo, el Taoísmo y el Zen tienen puntos de convergencia con las Teorías de la Complejidad en términos de su enfoque en la interconexión, la dinámica combinatoria y la comprensión de sistemas complejos.

No es nuestra intención hacer un inventario exhaustivo de todas las fuentes de inspiración, ni de los conceptos, enfoques y disciplinas que han contribuido al desarrollo fundacional de las Teorías de la Complejidad. Sin embargo, es importante destacar algunos de los aportes más relevantes, entre los cuales se encuentran:

- La Teoría de la Evolución.
- Las Leyes de la Termodinámica.
- La Mecánica Cuántica y el Principio de Incertidumbre.
- La Teoría General de Sistemas.
- La Cibernética.
- El Constructivismo.
- Las Teorías de Redes.
- La Teoría de la Información.
- Las Neurociencias.
- La Teoría del Caos.³

Quizá sea la Teoría General Sistémica, a través de su propuesta de explicar la realidad mediante la interacción de diferentes sistemas, una de las fuentes más influyentes en las Teorías de la Complejidad. Autores como Ludwig Von Bertalanffy, Heinz Von Foerster, Gregory Bateson, Humberto Maturana, Francisco Varela y la Escuela de Palo Alto, entre otros, aportaron fundamentos esenciales desde esta perspectiva.

Asimismo, no se pueden dejar de mencionar los aportes de Henri Poincaré, Norbert Wiener y Edward Lorenz, quienes exploran cómo los sistemas complejos presentan comportamientos impredecibles y

³ La Teoría del Caos se enfoca en cómo pequeñas variaciones en las condiciones iniciales pueden llevar a diferentes e impredecibles resultados futuros (efecto mariposa) incluso en sistemas deterministas. Nosotros, sin descalificar su valioso aporte, creemos que la Teoría del Caos tiene un objeto más acotado que las Teorías de la Complejidad en general, toda vez que se limita a las condiciones iniciales, a dialécticas entre el orden y el no orden y a la constante búsqueda de patrones (fractales, por ejemplo) y al lugar de supuestos atractores. Esto quedará demostrado en el presente trabajo.

cómo pequeñas perturbaciones pueden generar efectos desproporcionados en los resultados. El trabajo de matemáticos como Benoît Mandelbrot, quien introdujo el concepto de fractales en la década de 1970, también resultó crucial para el desarrollo de estas teorías. De manera similar, Stephen Wolfram destacó con sus modelos de autómatas celulares, fundamentales en el desarrollo de modelos computacionales aplicados a la complejidad.

A lo largo de los años, las Teorías de la Complejidad han centrado su estudio en tres objetos fundamentales: 1) la Complejidad, entendida como el lenguaje del universo, caracterizada por la interconexión, la impredecibilidad y la dificultad para ser descompuesta en partes aisladas; 2) los Sistemas Complejos, concebidos como conjuntos de elementos interrelacionados que generan propiedades y comportamientos emergentes; y 3) la Emergencia en los Sistemas Complejos, que se refiere a la aparición de propiedades o comportamientos que no son evidentes a nivel de los componentes individuales, sino que surgen de las interacciones y relaciones entre los elementos del sistema en su totalidad. El estudio de estos tres objetos busca comprender la dinámica y el comportamiento de sistemas complejos en diversas disciplinas, desde la filosofía, la física y la biología hasta la economía y las ciencias sociales.

El estudio y la aplicación de la complejidad ha atraído la atención de numerosas instituciones académicas, centros de investigación y comunidades científicas alrededor del mundo, que han desarrollado y aplicado teorías como las Ciencias de la Complejidad y el Pensamiento Complejo para abordar los desafíos que surgen en diversos campos, desde la física y la biología hasta las ciencias sociales y la gestión organizacional.

Evidencia de ello es la utilización del paradigma complejo, como herramienta transdisciplinaria de avanzada, por empresas mundiales líderes, organizaciones internacionales y gobiernos en todo el planeta en diversos aspectos de sus respectivas labores, consciente o

inconscientemente. La perspicacia propia de un abordaje complejo puede observarse en la investigación sobre los problemas más acuciantes del orden internacional contemporáneo: propagación de enfermedades mundiales; problemas en los sistemas económicos locales, nacionales, regionales y mundiales; ciberseguridad y crimen organizado; impacto del cambio climático y contaminación ambiental; conflictos armados político-étnicos-religiosos; entre otros. Algo similar ocurre dentro de los Estados nacionales al momento de tomar decisiones en sistemas complejos, como el económico o político, que presentan múltiples variables interconectadas a considerar. En muchos países, estas teorías tienen un alto impacto y generan concreciones de distinta índole, ya sea en la formulación de políticas públicas, la innovación tecnológica, el desarrollo de perspectivas educativas o la gestión de sistemas económicos y biológicos en general.

Los logros de estas teorías disruptivas y superadoras, podemos dividirlos en teóricos y aplicados. Las Teorías de la Complejidad pueden adjudicarse como logros teóricos: una ampliación y una integralidad nueva en la mirada de la ciencia; la interconexión y relación entre diferentes fenómenos y entre la mayor cantidad de variables intervinientes; una mayor apertura a la incertidumbre y a la diversidad; nuevas descripciones, modelizaciones y algoritmos de los sistemas; la promoción de prácticas interdisciplinarias; una combinación de descripción e intervención sobre eventos físicos y biológicos buscando soluciones para los grandes problemas que afectan a la humanidad. En cuanto a los logros aplicados, la lista de áreas, en las que se ha trabajado, es extensa. A modo de ejemplo, podemos citar: comportamiento climático, turbulencias en flujos energéticos, formación de patrones en convección, autoorganización en sistemas magnéticos, nanotecnología y nuevos materiales, sincronización en osciladores acoplados, termodinámica de sistemas fuera del equilibrio, redes de propagación de enfermedades, fluctua-

ciones económicas en mercados financieros, comportamientos del tráfico urbano, modelos en redes neuronales, dinámica de poblaciones, programas de salud y educativos, propagación de la información en grandes comunidades, redes metabólicas, regulación génica, interacciones entre especies, coevolución, formación de nichos ecológicos, datos genómicos y proteómicos.

El estudio de la complejidad ha sido liderado por figuras paradigmáticas que han dejado una huella significativa en nuestra comprensión de los sistemas complejos, lo cual ha dado lugar a dos grandes enfoques: el Pensamiento Complejo y las Ciencias de la Complejidad. En términos históricos, el Pensamiento Complejo precedió a las Ciencias de la Complejidad, desarrollándose a partir de la década de 1970. Esta corriente, fundada por Edgar Morin, enfatiza la interconexión y la naturaleza intrincada de los fenómenos a lo largo de diversas disciplinas. Morin creó una epistemología que desafía las explicaciones simplistas y promueve una visión integradora y multidimensional del conocimiento, lo que ha influido profundamente en campos como la educación, la sociología y la filosofía.

Por otro lado, las Ciencias de la Complejidad surgieron en la década de 1980 con un enfoque científico y matemático en el estudio de los sistemas complejos y sus propiedades emergentes. Esta corriente está estrechamente asociada al Instituto Santa Fe (SFI), fundado en 1984 en Nuevo México, Estados Unidos. Entre sus miembros fundadores se destacan J. Doyne Farmer, Murray Gell-Mann, John H. Holland, Melanie Mitchell, Stuart Kauffman y Duncan Watts, quienes han explorado fenómenos como la emergencia, la autoorganización y los atractores en sistemas dinámicos no lineales. El SFI ha sido un punto clave de investigación interdisciplinaria, reuniendo a científicos de diversas áreas para investigar cómo surgen patrones complejos a partir de interacciones simples.

Stuart Kauffman y sus colegas han jugado un papel crucial en el desarrollo de modelos conceptuales y matemáticos que explican la

emergencia y la dinámica de los sistemas adaptativos complejos. Junto con colaboradores como Geoffrey West y Brian Arthur, Kauffman ha elaborado teorías sobre la emergencia de la vida, la dinámica evolutiva y los sistemas adaptativos, impactando áreas como la biología, la economía y la teoría de redes.

Ambas visiones han tenido un impacto significativo a nivel global, influyendo en instituciones académicas, centros de investigación y organizaciones en diversos países. Las teorías del Pensamiento Complejo y las Ciencias de la Complejidad se han convertido en herramientas clave para repensar problemas contemporáneos en contextos locales y globales, influyendo en la formulación de políticas públicas, la innovación tecnológica y la gestión sostenible.

Hay quienes han tratado de simplificar las disputas entre estas dos visiones como un debate entre filósofos y matemáticos o entre generalistas y especialistas. Los primeros enfatizan la importancia de considerar los aspectos filosóficos y las implicaciones más amplias, es decir, ver la complejidad como una propiedad inherente del universo y unitiva y conectora de todos los sistemas. Los otros, en cambio, defienden la necesidad de encuadres matemáticos sólidos para modelar y analizar sistemas complejos en especial cuando presentan emergencias, novedades. El debate académico-teórico entre los complejólogos del Pensamiento Complejo y los de las Ciencias de la Complejidad pone en evidencia la falta de consenso respecto al objeto de estudio, las epistemologías de base y las metodologías. Estas diferencias incluyen el lugar del observador, las herramientas de descripción y las perspectivas para modelizar la complejidad.

En los últimos treinta años, además de las disputas entre los enfoques principales, han surgido una variedad de abordajes como la Dinámica de Sistemas, la Teoría de Redes Complejas, la Teoría de Autómatas Celulares, la Teoría de Juegos Evolutivos, los Sistemas

Adaptativos Complejos, la Simulación Basada en Agentes y la Ecología de la Mente. Estos son solo algunos ejemplos de las visiones y metodologías -que según algunos investigadores podrían sumar hasta un centenar- que han contribuido al campo de las Teorías de la Complejidad.

Si bien la diversidad de perspectivas dentro de las Teorías de la Complejidad ofrece ventajas, como la flexibilidad para adaptarse a una amplia variedad de sistemas en distintos campos y disciplinas, también fomenta la integración de conocimientos y perspectivas provenientes de expertos de diversas áreas, permitiendo abordar problemas complejos desde múltiples ángulos. No obstante, esta misma diversidad plantea desafíos significativos, como la dificultad para consolidar una teoría coherente y unificada y la falta de estandarización metodológica, lo que complica la comparación y generalización de resultados y conclusiones.⁴

Después de valorar los logros significativos alcanzados por las Teorías de la Complejidad, es importante reflexionar sobre algunas de sus limitaciones generales. Uno de los desafíos recurrentes es la diversidad de perspectivas respecto al objeto de estudio: ¿se centra en la complejidad como fenómeno en sí misma, en los sistemas complejos o en los procesos de emergencia? Esta diversidad enriquece el campo, pero también genera desafíos para establecer un marco unificado. Asimismo, existe una profusión de descriptores abstractos que intentan capturar su funcionalidad y comportamiento, lo que, en

⁴ Han existido numerosos intentos por unificar las teorías de la complejidad, con el objetivo de desarrollar una visión coherente y sistemática del campo. Uno de los enfoques destacados es la Teoría de Sistemas Complejos, que integra conceptos y principios compartidos por diferentes sistemas. Parte de la premisa de que muchos sistemas, independientemente de su naturaleza, comparten características comunes como la autoorganización, la retroalimentación, la adaptabilidad y la emergencia. Este marco teórico busca ser aplicable a múltiples disciplinas y fenómenos, facilitando la comprensión interdisciplinaria y proporcionando herramientas para modelar, describir y analizar sistemas complejos desde perspectivas integradoras y multiescalares. Similar al Saber Supercomplejo, promueve puntos de convergencia entre teorías dispares, aspirando a abordar la complejidad de forma sistemática y unificada, pero podría destacar aspectos específicos donde el SSC aporta una perspectiva más innovadora.

algunos casos, dificulta la integración entre análisis intra e intersistemas.

Otra cuestión pendiente es la ausencia de una taxonomía que organice los distintos tipos de complejidad dentro de cada sistema, lo cual podría aportar mayor claridad conceptual y práctica. En muchos casos, las modelizaciones realizadas en el campo de las Teorías de la Complejidad tienden a enfocarse en aspectos específicos de los sistemas, ya sea mediante herramientas como ecuaciones matemáticas y modelos computacionales, o a través de aproximaciones conceptuales y cualitativas. Si bien ambas perspectivas aportan conocimiento valioso, el desafío radica en combinar estos enfoques para lograr una comprensión más integrada de los sistemas complejos. Por último, la limitada conexión con problemas sociales y planetarios en ciertos marcos teóricos restringe su aplicabilidad práctica, aunque varios investigadores ya trabajan en cerrar esta brecha.

A pesar de que ambos encuadres –el Pensamiento Complejo y las Ciencias de la Complejidad– son poderosos en sus respectivos campos, tienden a operar de manera fragmentada y con descriptores que pueden considerarse reduccionistas en ciertos contextos. Esta fragmentación del conocimiento dificulta una comprensión integradora de los sistemas complejos y limita el avance hacia una síntesis conceptual y metodológica que abarque la complejidad en todas sus dimensiones.

El Pensamiento Complejo, desarrollado principalmente por Edgar Morin, ha influido en la forma de entender la complejidad desde una perspectiva transdisciplinaria. Sin embargo, enfrenta críticas y presenta ciertas limitaciones:

1. Falta de formalización matemática y científica: El Pensamiento Complejo carece de un marco formal que permita operacionalizar sus conceptos, lo que dificulta la modelización y análisis de los sistemas complejos.

2. Excesiva abstracción filosófica: Las descripciones tienden a ser teóricas y narrativas, con una cantidad de categorías que puede resultar excesiva y poco aplicable (indecidibilidad, por ejemplo).
3. Falta de distinción dentro de la complejidad: No se logra diferenciar claramente entre tipos de sistemas complejos o niveles de análisis, lo que lleva a generalizaciones excesivas.

Por su parte, las Ciencias de la Complejidad, aunque han ofrecido nuevas formas de entender los sistemas complejos, también presentan limitaciones.

1. Falta de definición precisa: No existe un concepto claro y aceptado universalmente de lo que constituyen las Ciencias de la Complejidad, lo que las hace parecer más fragmentadas que complejas.
2. Falta de claridad en el objeto de estudio y generalizaciones: No se establece claramente qué es un "sistema complejo" ni qué componentes o propiedades lo caracterizan.
3. Falta de contrastación empírica: Aunque el modelado matemático y la simulación son útiles, a menudo resultan demasiado especulativos y alejados de fenómenos reales observables.
4. Falta de distinción entre escalas y niveles de complejidad: La ausencia de diferenciación entre niveles y tipos de complejidad puede conducir a un reduccionismo.
5. Reducción al caos: La relación con la Teoría del Caos ha centrado su enfoque en la descripción de fenómenos caóticos, lo que ha limitado su capacidad para abordar la complejidad desde una perspectiva más integral y multidimensional.
6. Desatención de la estructura estable de los sistemas: Se han dejado de visualizar comportamientos resistentes y de tensión en los sistemas.

7. Modelización matemática e informática fragmentada: La falta de una línea teórica coherente impide el desarrollo de modelos matemáticos y algoritmos aplicables de manera consistente.

Se intentaron muchas acciones para superar esta situación de vacío y anomia, de enfrentamiento y brecha entre las Ciencias de la Complejidad y el Pensamiento Complejo; se generaron espacios y eventos para discutir y encontrar acuerdos, pero ninguna de estas acciones, creemos, han sido suficientes para superar la multiplicación ilimitada de conceptos, enfoques y metodologías que no hacen más que debilitar la teoría impidiéndole una practicidad y utilidad en orden a atender las acuciantes problemáticas sociales y planetarias.

Hay una ingente cantidad de complejólogos que consideran que su propia construcción de la complejidad es la mejor y superior a cualquier otra. Esta exaltación de egos se cristaliza en una suerte de mosaiquismo institucional donde cada encuadre ve a los otros marcos teóricos como rivales y esto lleva al cierre cognitivo y a la generación de partidismos. Dicho esto, es importante reconocer que la ciencia siempre ha estado en evolución y nuevos paradigmas emergen en respuesta a los límites percibidos de las teorías existentes. Mientras que algunos complejólogos pueden resistirse a los cambios, otros pueden verlos como oportunidades para abordar preguntas y desafíos que anteriormente eran inaccesibles o mal entendidos.⁵

⁵ Un hecho curioso tuvo lugar en 2021 con la entrega de los Premios Nobel de Física. Este evento puso de manifiesto cómo el alcance del término “Teorías de la Complejidad” puede ser interpretado de manera tan amplia que dos investigaciones con objetos y metodologías aparentemente divergentes fueron presentadas por algunos divulgadores científicos como avances dentro del mismo marco teórico. Esto refleja las posibles inconsistencias en la percepción pública de este campo y la necesidad de una mayor precisión conceptual.

CAPÍTULO DOS

NUEVAS ACTITUDES PARA REPENSAR LA COMPLEJIDAD

Un auténtico saber sobre la complejidad debe cuestionar cualquier proceso de adoctrinamiento o manipulación que imponga una visión predefinida de la realidad, el universo, la vida o los proyectos de realización personal. Esto incluye todos los ámbitos: el conocimiento, la creatividad y la búsqueda de la verdad. La renuncia a una mirada crítica en favor de una ilusión socialmente impuesta conduce inevitablemente a la pérdida de la autonomía del sujeto.

Es fundamental utilizar las herramientas de la filosofía, la ciencia y la tecnología para desenmascarar las manipulaciones y distorsiones de la realidad, especialmente aquellas impuestas por fundamentalismos religiosos, políticos, sociales o culturales. Este esfuerzo exige valentía, honestidad intelectual y la disposición para desaprender creencias arraigadas que limitan nuestra capacidad de pensar libremente.

Además, se requiere fortaleza para afrontar las posibles sanciones sociales, como el aislamiento o el rechazo de quienes se aferran a posiciones conservadoras o fanáticas. Asumir esta responsabilidad implica estar dispuesto a una nueva posición ante la realidad, aun cuando ello desafíe las normas impuestas por la sociedad.

A) RESISTENCIA, LIMITACIONES E IMPEDIMENTOS PARA REPENSAR LA COMPLEJIDAD

Nuestras creencias y limitaciones mentales actúan como los propios límites de nuestro universo simbólico, delimitando lo que podemos comprender y explorar. Si el universo físico es vasto en sí mismo, nuestro acceso a su complejidad y profundidad depende de nuestra capacidad para trascender esas creencias. Liberarnos de estas limitaciones no solo expande nuestra comprensión simbólica, sino

que también nos permite abordar la complejidad desde una perspectiva más abierta y transformadora.⁶ Los impedimentos para la comprensión, aceptación y compromiso con un nuevo paradigma y saber sobre la complejidad incluyen:

- 1. Limitaciones de las formas de pensamiento actuales:** La proliferación de formas de pensamiento como el binario, el único, el 'light', el lineal y el simplificante, tan prevalentes en la actualidad, obstaculizan la emergencia de un saber sobre la complejidad. Estas tendencias privilegian explicaciones causales simples, lineales o monocausales, lo que dificulta la comprensión de la interconexión y las dinámicas emergentes propias de los sistemas complejos. Además, las normas culturales y las creencias profundamente arraigadas en la sociedad actúan como barreras que refuerzan estas perspectivas reduccionistas, especialmente cuando nuevos enfoques desafían las concepciones tradicionales del conocimiento y la realidad. Superar estas limitaciones requiere un cambio profundo en nuestra forma de pensar, adoptando una mentalidad abierta, integradora y dispuesta a explorar la riqueza de las interrelaciones que definen la complejidad.⁷
- 2. Limitaciones en la concepción de la ciencia:** La ciencia tradicional, con su énfasis en la búsqueda de leyes universales y constantes, enfrenta limitaciones significativas al abordar sistemas

⁶ En el marco del SSC, la ciencia puede interpretarse como una forma particular de creencia. No obstante, a diferencia de otras formas de creencia, la ciencia se fundamenta en el flujo continuo de datos y evidencia, aspirando -en su ideal- a liberarse de prejuicios, ideas predeterminadas, axiologías de compromiso y argumentos de autoridad. Este enfoque dinámico y relacional permite que la ciencia evolucione y se autocorrija, buscando describir y comprender la complejidad del universo y de la vida con una apertura propia de su método.

⁷ Las ideologías políticas y religiosas extremistas tienden a simplificar y distorsionar la realidad para adaptarla a sus agendas. Este fenómeno a menudo implica el rechazo de la complejidad en favor de narrativas parciales y maniqueas que promueven la polarización de problemas y la demonización de grupos opuestos. Las teocracias fundamentalistas representan un ejemplo destacado de estas dinámicas, habiendo contribuido en las últimas décadas al surgimiento del terrorismo como una amenaza global persistente. Este tipo de ideologización y radicalización obstaculiza la posibilidad de adoptar un saber y un hacer fundamentados en la complejidad, esenciales para abordar los desafíos contemporáneos de manera integral y sostenible

complejos, que se caracterizan por su causalidad múltiple, dinámica y cambiante. Los enfoques reduccionistas, al descomponer los sistemas en partes manejables, parten del supuesto de que el todo es simplemente la suma de sus partes. Esto conduce a modelos estáticos y deterministas que asumen reglas fijas, ignorando las interacciones dinámicas y emergentes que definen a los sistemas complejos. Comprender la complejidad requiere un cambio de paradigma: en lugar de descomponer los sistemas en elementos aislados, es necesario centrar la atención en las relaciones e interacciones que les otorgan su carácter único. Los sistemas no pueden ser plenamente entendidos sin considerar cómo sus componentes interactúan, se imbrican y se transforman mutuamente. Más que aceptar la complejidad, debemos adoptarla como el punto de partida para explorar la realidad, reconociendo que solo a través de este paradigma podemos captar la riqueza y profundidad de los fenómenos complejos.

3. Limitaciones en la capacidad cognitiva humana: Nuestro cerebro está predispuesto a la simplificación y categorización, lo que dificulta abordar la complejidad inherente de los sistemas. Para facilitar la comprensión, la comunicación y la acción inmediata, tendemos a dividir la realidad en objetos definidos y categorías claras. Aunque esta fragmentación es útil en contextos cotidianos, también limita nuestra capacidad para percibir la continuidad y la interconexión subyacente en los procesos del universo y de la vida. Por ello, la complejidad, y especialmente la supercomplejidad, son consideradas 'contraintuitivas' y 'contracerebrales'. Estudios en neurociencias han identificado sesgos como el 'sesgo de confirmación', que nos lleva a priorizar información que refuerza nuestras creencias previas, ignorando datos que podrían revelar una mayor complejidad. Asimismo, la 'apofenia', o nuestra tendencia a buscar patrones incluso donde no los hay, puede proyectar correlaciones infundadas y simplificar en exceso realidades mucho más ricas. Estos mecanismos

cognitivos, si bien nos han sido útiles en términos evolutivos, pueden actuar como barreras para comprender y aceptar la interconexión dinámica de los sistemas complejos. Superar estas limitaciones requiere un esfuerzo consciente para cuestionar nuestras creencias, abrirnos a perspectivas más amplias y adoptar herramientas que nos permitan navegar mejor en la complejidad, integrando tanto lo intuitivo como lo analítico en nuestra forma de pensar.

4. Limitaciones por parte de los complejólogos: Ha habido representantes, dentro del campo de las Teorías de la Complejidad, que han mostrado actitudes sectarias, falta de diálogo, presuntuosidad e intolerancia, lo que ha generado malestar y alejamiento de personas interesadas en el paradigma. Este empobrecimiento se refleja en la repetición de análisis disociados que no logran una integración. Existen resistencias, por ejemplo, a incluir el macro-sistema de micropartículas o a utilizar descubrimientos de neurociencias o ciencia de datos, teoría de redes o simulaciones, entre otras. Los complejólogos, junto con científicos y filósofos, deberían abandonar enfoques basados en certezas absolutas y adoptar paradigmas que combinen certezas provisionales con incertidumbres que se desvelan progresivamente.

5. Limitaciones culturales e institucionales: Las estructuras educativas academicistas y los sistemas de financiamiento científico suelen estar diseñados para recompensar enfoques tradicionales y reduccionistas. La rigidez de estas instituciones puede dificultar la adopción de paradigmas innovadores. Los marcos curriculares y los mecanismos de evaluación científica, al estar orientados hacia la especialización y la fragmentación del conocimiento, no siempre fomentan una visión interdisciplinaria ni la integración de múltiples niveles de complejidad. Esta resistencia institucional contribuye a la perpetuación de modelos estáticos y dificulta el avance hacia paradigmas más integradores y dinámicos.

B) LA CONSTRUCCIÓN DE UNA ACTITUD COMPLEJA

La complejidad del universo, de la vida y de nuestro cerebro exige no solo una respuesta cognitiva, sino también un compromiso profundo con una postura abierta y flexible. Esta actitud implica enfrentar los interrogantes más desafiantes mediante soluciones creativas y efectivas, evitando explicaciones simplistas o mono-causales. En lugar de causas únicas, se trata de considerar una amplia gama de variables, integrando distintas perspectivas para construir una visión más enriquecedora y sistémica.

Adoptar una actitud compleja implica aceptar la coexistencia de lo lineal, reiterado y uniforme con lo novedoso, emergente y excepcional. Este paradigma nos invita a reconocer tanto las regularidades como las irrupciones inesperadas, valorando la diversidad y la dinámica de los fenómenos. Al hacerlo, se promueve una comprensión más flexible de la realidad, basada en un equilibrio dinámico que privilegia la observación de interconexiones en lugar de fragmentar los eventos o fenómenos. Creemos que esto implica evitar la hipóstasis de intuiciones, no forzar las descripciones para que encajen en narrativas predeterminadas, eludir el sesgo de la apofenia y resistir las respuestas tranquilizadoras.

Esta actitud desafía los modelos educativos y científicos tradicionales, proponiendo un cambio hacia una visión más integradora y sistémica. No solo se trata de observar los sistemas o macrosistemas, sino también de reflexionar sobre los procesos cognitivos de los investigadores y desarrolladores humanos. Esto requiere herramientas que permitan visualizar las interrelaciones multiescalares de los sistemas complejos, así como algoritmos capaces de detectar fluctuaciones, no constantes y comportamientos dinámicos. Estas herramientas se convertirán en claves para avanzar en la comprensión y el modelado de sistemas complejos.

Por último, entender la multicausalidad implica reconocer que cualquier evento o transformación es producto de un entramado de

interacciones, retroalimentaciones y codependencias. Este encuadre trasciende la visión reduccionista que fragmenta la realidad en causas aisladas, permitiendo mapear y modelar estas interacciones complejas. De este modo, es posible capturar la convergencia de diferentes flujos de energía, morfologías estructurales y conectividades temporales, ofreciendo una comprensión más completa y transformadora de la realidad.

CAPÍTULO TRES

LOS PRINCIPIOS DEL SABER SUPERCOMPLEJO

Una nueva época de crecimiento de los saberes y acciones complejas comienza con una evolución y transformación de conceptos, de modelizaciones, de fines y de lugares contruidos por el observador-desarrollador. Las Teorías de la Complejidad deben evolucionar hacia un estado más avanzado y desarrollado. Desarrollarse implica aceptar que debemos ingresar a una etapa más madura y comprensiva de estudio en comparación con las teorías iniciales de la complejidad. Es por eso que proponemos, en principio, y sometemos a la consideración de la comunidad científica en general, los siguientes principios del Saber Supercomplejo (SSC):

PRIMER PRINCIPIO: El objeto de estudio son los sistemas complejos desde la tríada de sus componentes: flujos de energía, morfología estructural y conectividad temporal.

El objeto de estudio del Saber Supercomplejo (SSC) son los sistemas⁸ complejos en toda su multidimensionalidad. Desde esta posición, entendemos a los sistemas como unidades reales o

⁸ Hay que señalar que, en cierta medida, un sistema es un constructo del observador. La realidad, dinámica y compleja como la conocemos, solo es observable a través de los sistemas que construimos para hacerla inteligible. Preferimos el concepto de sistema al de "organización" o al de "campo". Es innecesaria una discusión semántica, siendo que la misma debe ser morfológica, es decir, referida al contenido de comprensión. Morin se inclina por el concepto de "organización" y la concibe como un proceso continuo de auto-organización y desarrollo, donde la adaptabilidad y la evolución son componentes clave. Señala cómo los sistemas biológicos y sociales mantienen y renuevan su estructura a través de procesos internos. Esta conceptualización no es sustituida por la que nosotros exponemos a lo largo de este trabajo, pero creemos que el concepto de sistema, bajo nuestra comprensión y delimitación comportamental compleja, es más amplia e integrativa. Para la teoría de Campos Cuánticos (QFT) los "campos" son entidades fundamentales que permean todo el espacio y el tiempo. Estos campos cuánticos son tratados como los constituyentes básicos de la realidad, de los cuales las partículas son meras excitaciones o manifestaciones. Esta concepción puede ser más abarcadora y fundamental que la de "sistema", tal como se ha entendido tradicionalmente. Lo cierto es que nosotros incluimos los macrosistemas micropartículas y casi la totalidad de comportamientos complejos señalados están en línea con la propuesta dinámica de los "campos" en la mencionada teoría.

abstractas⁹ de administración de energía en interacción dinámica y evolutiva con sus morfologías estructurales en una búsqueda de conservarse en el tiempo, a través de estrategias de conectividad temporal. Se trata, por lo tanto, de una interacción tridimensional, interdependiente, circular, dinámica y evolutiva entre la energía, el espacio y el tiempo.

La concepción del SSC sobre los sistemas complejos como unidades dinámicas e interdependientes que gestionan energía, espacio y tiempo encuentra resonancias en investigaciones contemporáneas como la Teoría de Redes Complejas¹⁰, que explora la conectividad y las dinámicas emergentes en sistemas interconectados; la Biología de Sistemas¹¹, que aborda los organismos como redes de interacción energética y temporal; y los modelos de Simulación Basada en Agentes¹², que reproducen procesos evolutivos y adaptativos. Estos estudios refuerzan la perspectiva tridimensional y evolutiva de la SSC, vinculando sus postulados con enfoques interdisciplinarios actuales.

Por ello, los flujos energéticos, en cualquiera de sus expresiones, la morfología estructural (espacio) y las estrategias de conectividad temporal (tiempo) -apagado y encendido en las funciones y el contacto temporal interno o externo del sistema- son las tres dimensiones fundamentales para comprender, describir, intervenir y/o modelizar cualquier tipo de sistema. Estas dimensiones son

⁹ Un sistema complejo abstracto es una representación conceptual de un sistema complejo real, que se utiliza para estudiar y comprender aspectos importantes de dicho sistema de una manera más manejable y accesible. Estos modelos abstractos permiten analizar y simular el comportamiento de un sistema, identificar relaciones multicausales y características emergentes. Además, proporcionan una base para formular y probar hipótesis sobre cómo funciona el sistema real. De esta manera, los sistemas complejos abstractos y los sistemas complejos reales no deberían ser entidades separadas, sino que se deberían complementar mutuamente.

¹⁰ Barabási, Albert-László. *Network Science*. Cambridge University Press, 2016.

¹¹ Kitano, Hiroaki. "Systems Biology: A Brief Overview." *Science*, vol. 295, no. 5560, 2002.

¹² Gilbert, Nigel, and Klaus G. Troitzsch. *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press, 2005.

centrales para describir el universo y la vida y explicar la continuidad-unidad y la diversidad de todos los sistemas¹³.

Los tres componentes son versátiles y abarcativos:

1. **Flujos de Energía:** Representan las dinámicas activas que atraviesan el sistema, incluyendo movimientos físicos, transferencias de información, niveles de actividad o concentración, transformaciones emocionales e incluso intercambios de valor en sistemas económicos. Los flujos de energía pueden ser constantes o fluctuantes y son clave para entender cómo se produce el cambio y la adaptación en un sistema.¹⁴
2. **Morfología Estructural:** Abarca las configuraciones, comportamientos, reglas y estructuras que organizan o limitan los flujos de energía, tanto entre los elementos internos del sistema como con los sistemas externos de interacción. Esta morfología puede ser física (formas y estructuras materiales), conceptual (modelos y teorías), simbólica (lenguajes y significados) o digital (redes y algoritmos), reflejando la forma en que el sistema se organiza y evoluciona.
3. **Conectividad Temporal:** Refleja la sincronización, duración, secuencia y coordinación de las interacciones dentro del sistema, así como con otros sistemas en intercambio, a lo largo del tiempo. Implica cómo las relaciones en un sistema se desarrollan, se mantienen o

¹³ ¿El SSC es compatible con el enfoque de la "gravedad cuántica"? La gravedad cuántica intenta unificar la teoría de la relatividad general, que describe la gravedad a gran escala, con la mecánica cuántica, que explica fenómenos subatómicos. Del mismo modo, el SSC propone que la complejidad surge de la interacción dinámica y bidireccional entre sistemas macroscópicos, micropartículas y sistemas biológicos ofreciendo un marco que podría integrar los efectos gravitacionales con los principios cuánticos. En particular, la idea de que el espacio y el tiempo son tanto concretos como abstractos en el SSC se alinea con la noción de que en la gravedad cuántica, el espaciotiempo no es un fondo estático, sino que se comporta de manera dinámica y puede ser afectado por las fluctuaciones cuánticas.

¹⁴ La materia no se considera un componente fundamental separado dentro de los sistemas complejos, sino que se entiende como una manifestación o "presentación" de la energía. Desde esta perspectiva, la materia es una forma condensada de energía que adopta diversas configuraciones estructurales en función de las interacciones energéticas y su contexto espacio-temporal.

se transforman con el tiempo, afectando la estabilidad y el dinamismo del sistema. La conectividad temporal es esencial para capturar tanto la permanencia como el cambio en las dinámicas del sistema.¹⁵

Desde nuestra perspectiva, es fundamental considerar los componentes de los sistemas complejos para lograr una comprensión completa del fenómeno. Sin embargo, el análisis no debe limitarse a ciertos comportamientos, sino que debe abordar la integralidad del sistema, incluyendo los cambios que ocurren tanto internamente como en su interacción con otros sistemas.¹⁶

Los flujos energéticos son esenciales para el funcionamiento y comportamiento de los sistemas ya que impulsan procesos e interacciones y participan en la creación de estructuras y en la autorregulación de los mismos. En este sentido, la energía¹⁷ es necesaria para transportar, procesar y transmitir información. Estas

¹⁵ La Teoría de la Relatividad de Albert Einstein subraya la interrelación inseparable entre el espacio y el tiempo, que forman una entidad unificada conocida como el "espaciotiempo". Este concepto se alinea con nuestro paradigma que considera el tiempo y el espacio como dimensiones que afectan las dinámicas de los sistemas complejos. Sin embargo, mientras que la Relatividad se centra en fenómenos cosmológicos y gravitacionales nuestra propuesta de interconexión se aplica a una amplia gama de sistemas, incluidos los microscópicos, los biológicos y los tecnológicos. Por otro lado, compartimos con la Cibernética de Norbert Wiener, centrada en los sistemas de control y retroalimentación, el detalle en la regulación y la autoorganización dentro de los sistemas, aunque la Cibernética se enfoca en los mecanismos de control más tradicionales, mientras que nuestra propuesta incorpora un marco más integral que incluye la energía y la conectividad temporal. Finalmente, las teorías de Ilya Prigogine sobre las estructuras disipativas ofrecen puntos de convergencia en su análisis de los flujos de energía. Sin embargo, nosotros consideramos las interacciones entre múltiples sistemas complejos y su capacidad para reconfigurarse a través de la conectividad temporal y las modificaciones en sus morfologías estructurales.

¹⁶ El enfoque reductivo a las propiedades emergentes y los patrones de comportamiento puede llevar a descuidar la importancia de entender las partes constituyentes y sus interacciones; por lo tanto, consideramos que es necesario observar las propiedades de los sistemas complejos como la naturaleza y relaciones de sus componentes para lograr una visión más completa. Otro problema es cuando se describen los elementos internos del sistema (intrasistema) y no se consideran los sistemas de intercambio (entresistemas).

¹⁷ Es importante recordar que la energía no es directamente observable, sino que la percibimos a través de sus efectos en el espacio y en los objetos. Por ejemplo, la luz y el calor son manifestaciones de la energía electromagnética y el movimiento de objetos es una consecuencia de la energía cinética. Así, aunque no podemos ver la energía en sí misma, la percibimos constantemente a través de sus múltiples manifestaciones cotidianas.

transferencias pueden darse de manera lineal, pero también seguir formas topológicas, fractales, radiales, reticulares, espirales, toroidales, entre otras, lo que añade una enorme complejidad al estudio de estos sistemas. Estas interacciones y superposiciones de flujos energéticos, caracterizadas por una circularidad intrínseca, hacen que estos sistemas sean diversos, cambien y evolucionen en el tiempo y se expandan e interconecten en el espacio.¹⁸ Deteniéndose en los detalles, consideramos que los flujos energéticos son moldeados por dos eventos fundamentales: primero, la interacción entre diferentes tipos de energía, que puede generar manifestaciones energéticas únicas con impactos directos en el funcionamiento de los sistemas involucrados y sus sistemas conectados; segundo, la resistencia impuesta por las morfologías estructurales y las estrategias de conectividad, que delimitan y definen las trayectorias posibles de estos flujos energéticos.

Para el SSC, la energía es concebida desde su capacidad combinatoria que permite la interacción entre diferentes frecuencias vibratorias, dentro de un proceso de superposición y sincronización, en el que aparecen propiedades emergentes, fenómenos nuevos o estabilidad dentro de un sistema. Se visualiza como un flujo continuo y multidimensional que atraviesa y conecta los distintos elementos del sistema y los sistemas entre sí.¹⁹

¹⁸ No concebimos una linealidad entre las formas energéticas, ya que el entrecruzamiento de diferentes expresiones de energía genera una circularidad inherente. Los sistemas que surgen del acoplamiento entre sistemas preexistentes pueden recombinarse con los sistemas originales de la interacción, lo que incrementa la complejidad del conjunto.

¹⁹ La concepción del SSC sobre la energía como un flujo multidimensional y combinatorio encuentra resonancias en diversos autores e investigaciones. Ilya Prigogine estudió el papel de la energía en la formación de estructuras disipativas, mientras que David Bohm la relacionó con el orden implicado y la conectividad universal. Hermann Haken exploró su papel en la autoorganización de sistemas a través de la sinergia. Albert-László Barabási analizó cómo la energía impulsa las interacciones en redes complejas. Fritz-Albert Popp destacó la importancia de la energía luminosa en los procesos biológicos mediante los biofotones. Nikolai Tesla entendió la energía como base de la resonancia y las frecuencias vibratorias y Benoît Mandelbrot vinculó las dinámicas energéticas con patrones fractales emergentes. Estas perspectivas refuerzan la idea del SSC de la energía como un agente central en los sistemas complejos.

Consideramos la información como una forma de energía que actúa activamente sobre la estructura de un sistema complejo, moldeando su forma y organización. Esta perspectiva subraya la capacidad de la información para interactuar y dar forma a las estructuras internas de dichos sistemas, evidenciando su rol crucial en la dinámica y evolución de los mismos. La información, constituye la síntesis de lo que acontece en términos energéticos, espaciales y temporales en un sistema determinado. Facilita la comunicación y transferencia de energía, proporciona el contexto para comprender las interacciones espaciales y temporales y nace como resultado de estas interacciones.

En cuanto a los flujos de energía, podemos ensayar una breve evolución de los mismos. Desde las primeras fluctuaciones cósmicas de este universo, las distintas modalidades de energía han impulsado la creación y evolución del mundo cuántico. La energía primordial liberada generó las primeras partículas subatómicas como quarks y electrones, lo que originó el macrosistema micropartículas. A medida que el universo se enfriaba, la energía nuclear permitió la formación de los primeros átomos, estabilizando elementos ligeros como el hidrógeno y el helio. Posteriormente, la energía gravitacional atrajo estos átomos, dando lugar a la formación de estrellas y galaxias a través de la fusión nuclear, donde las interacciones gravitacionales dominan la estructura a gran escala del universo.

En la Tierra, la energía química y la energía solar fueron cruciales para el surgimiento de la vida, cuando las moléculas comenzaron a autoorganizarse en las primeras células. La vida evolucionó a partir de simples organismos unicelulares hacia sistemas multicelulares más complejos, utilizando la energía metabólica para su sustento y adaptación.²⁰

²⁰ Para el SSC, la evolución no sigue una línea directa o progresiva. En lugar de eso, es un proceso dinámico y multifacético donde las adaptaciones y cambios surgen a través de ensayos, errores y reajustes constantes en respuesta a un entresistemas cambiante.

A lo largo de la historia humana, la capacidad para transformar energía mecánica y eléctrica permitió el desarrollo de tecnologías. Finalmente, en la era moderna, la revolución digital introdujo la energía digital y el procesamiento de información como modalidades energéticas cruciales. Con el surgimiento de la Inteligencia Artificial y los sistemas ciberanalógicos, las capacidades humanas para manipular la energía y gestionar la información han alcanzado nuevas alturas, generando una interconexión cada vez más profunda entre los sistemas biológicos y tecnológicos.²¹

Para el SSC, los flujos de energía adoptan una morfología “funcional” que es el resultado de la combinación de diversas energías y las formas en que estas se desplazan y circulan por el espacio del sistema complejo. Generalmente, este movimiento se manifiesta en turbulencias, ondulaciones, vórtices, flujos laminares, convección, difusión y oscilaciones que son indicativas de la dinámica energética interna.²²

La interacción entre la morfología estructural espacial y la morfología funcional energética en el SSC es esencial para comprender la dinámica completa del sistema complejo. La morfología estructural espacial se refiere a la disposición y organización física de los componentes del sistema en el espacio. Esto incluye la forma, tamaño, distribución y conexión entre las diferentes partes del sistema.

Por otro lado, la morfología funcional energética se centra en cómo la energía fluye y se distribuye a través del sistema, manifestándose en comportamientos como turbulencias, ondulado-

²¹ Con más detalle se podrían hablar de diferentes tipos de energía y de diferentes modalidades de flujos de energía. Entre los tipos de energía tenemos: cinética, potencial, potencial gravitatoria, potencial elástica, potencial química, térmica, eléctrica, magnética, electromagnética, nuclear fuerte y débil, radiante, sonora, mecánica, química, de ionización, oscura, entre otros. Los flujos de energía son procesos en los que la energía se transfiere o transforma de un tipo a otro. Ejemplos: radiación, conducción, convección, turbulencia, geotérmica, hidrodinámica, eólica, solar, mareomotriz.

²² Estos movimientos son propios de los macrosistemas macroscópico y biológico, no así del macrosistema micropartículas.

nes, vórtices, flujos laminares, convección, difusión y oscilaciones. Estos comportamientos energéticos son cruciales para las funciones y procesos que ocurren dentro del sistema.

La interacción entre ambas morfologías es bidireccional y dinámica: La disposición física del sistema puede facilitar o limitar ciertos tipos de movimientos energéticos. Por ejemplo, una estructura con canales estrechos puede favorecer flujos laminares, mientras que geometrías más complejas pueden generar turbulencias y vórtices. La topología y conectividad espacial determinan las rutas posibles para el movimiento de energía.

Los comportamientos de los flujos de energía pueden, a su vez, modificar la estructura física del sistema. Por ejemplo, en sistemas naturales, el flujo de agua puede erosionar el terreno y alterar su morfología. En sistemas biológicos, el transporte de nutrientes y señales energéticas puede influir en el crecimiento y desarrollo estructural.

La energía térmica es una de las formas más prevalentes de energía en la Tierra y tiene un impacto significativo en los comportamientos de movimiento que observamos en los sistemas macroscópicos y biológicos. Además de la energía térmica, varias otras formas de energía juegan roles cruciales en los cambios dentro de sistemas complejos, compitiendo o interactuando con la energía térmica. Algunas de las más significativas incluyen: energía química, cinética, potencial gravitatoria, electromagnética, nuclear, eléctrica, entre otras.

Cada una de estas formas de energía puede competir o interactuar con la energía térmica en los sistemas complejos. A menudo, estas formas de energía no actúan de manera aislada, sino que se transforman de una en otra a través de distintos procesos, lo que genera cambios significativos en la estructura, comportamiento y dinámica de los sistemas. La capacidad de los sistemas complejos

para almacenar, transformar y distribuir estas energías es fundamental para su evolución y adaptación.

Por otra parte, las morfologías estructurales, precisamente, determinan cómo están organizados los componentes de los sistemas y sus posibilidades de interacción y afectan directamente la forma en la cual fluye la energía en los mismos. En este sentido, los flujos energéticos sólo pueden expresarse conforme a la estructura morfológica del sistema; sin embargo, la circulación energética, producto de la plasticidad y adaptabilidad de los sistemas, puede conducir a modificaciones en dichas estructuras.

Desde el SSC evitamos adoptar posturas unilaterales que simplifiquen la complejidad estructural-morfológica del universo. Esto incluye tanto la idea de una simetría perfecta, como propone la teoría de la supersimetría (SUSY), como la imprevisibilidad absoluta, característica de la teoría del caos. Si bien ambas perspectivas han aportado herramientas valiosas para comprender aspectos estructurales de la naturaleza, reducir el universo a una sola de estas visiones puede llevarnos a perder de vista su verdadera riqueza. La realidad parece situarse en un espectro más dinámico, en el cual coexisten simetrías y asimetrías (junto con simetrías con asimetrías y asimetrías con simetrías), se interpenetran y dependen del nivel de análisis o del sistema que estemos considerando.

En cuanto a las morfologías estructurales, estas se presentan con distintas predominancias en los sistemas complejos y, en muchas ocasiones, superpuestas:

- Lineales, dependencia. Las estructuras lineales sugieren una secuencia donde cada paso depende del anterior;
- Reticulares, cooperación y competencia. Las redes permiten la interacción entre diversos nodos que pueden colaborar o competir por recursos;
- Arbóreas, dependencia jerárquica. Aquí, los nodos inferiores dependen de los superiores;

- Topológicos, cooperación. Esta forma estructural es ideal para la conexión entre nodos, de manera que optimicen sus funciones;
- Laminar, superposición y profundidad relacional. Representa capas interpenetradas de sistemas, procesos o variables que no se anulan, sino que se potencian o tensionan mutuamente.
- Radiales, dependencia central. Aquí, el nodo central provee y/o controla recursos a los nodos periféricos;
- Fractales, autonomía y dependencia. Estas estructuras suelen operar de manera autónoma a diferentes escalas, pero mantienen una dependencia a través de formas repetitivas;
- Espirales, dinámica cíclica. En general, se expresan ciclos continuos de retroalimentación;
- Toroides, interdependencia cíclica. Ciclos continuos donde todos los nodos están interconectados, de forma tal que el flujo no se detiene;
- Hexágonos, cooperación. Estas estructuras maximizan la eficiencia del espacio y los recursos;
- Cilindros, flujo continuo. Esta estructura promueve el flujo continuo de recursos y/o información;
- Pentágonos, balance y estabilidad. Estructuras ideales para equilibrar funciones o roles.²³

La evolución de las morfologías estructurales en sistemas complejos no sigue una flecha lineal que conduzca hacia formas progresivamente más complejas. Por el contrario, se trata de un proceso dinámico y no lineal, donde principios universales interactúan con reorganizaciones espontáneas provocadas por eventos novedosos, fluctuaciones internas o externas y nuevas

²³ Cuando dos morfologías estructurales diferentes se encuentran, el resultado no es necesariamente la aparición de una nueva morfología que sea una combinación perfecta de ambas, ni tampoco el simple predominio de una sobre la otra. El resultado es contingente a las dinámicas internas del sistema, la cantidad y tipo de energía disponible, las propiedades de conectividad temporal y la adaptabilidad de cada morfología a su contexto específico. La aparición de una morfología nueva o el predominio de una existente dependerá de cómo se configuren estas variables.

combinaciones entre elementos del sistema. Este carácter dual, que combina comportamientos estructurales comunes con respuestas emergentes y contextuales, permite entender cómo un sistema puede adaptarse, retroceder o incluso convivir en estados superpuestos.²⁴

Vale aclarar que en los sistemas complejos, aunque coexisten múltiples morfologías estructurales, es posible que una de ellas se torne predominante en un sistema. Sin embargo, esta predominancia no es absoluta ni permanente, ya que los sistemas operan dentro de márgenes de fluctuación que permiten el surgimiento de nuevas configuraciones en respuesta a cambios internos o externos. Estos márgenes garantizan la adaptabilidad del sistema, posibilitando transiciones dinámicas entre formas predominantes en función de la evolución del sistema.

Por otro lado, la conectividad temporal se refiere tanto a las secuencias de procesos necesarios para el funcionamiento del sistema, como a la forma en que interactúa con otros sistemas, lo que puede incluir ciclos de comunicación, fases de crecimiento o retracción, entre otras dinámicas posibles en la búsqueda de la conservación y la eficiencia.²⁵

En el SSC, podría decirse que la conectividad temporal y los flujos de energía mantienen una relación bidireccional. Por un lado, los flujos energéticos determinan ciertos comportamientos temporales, lo que respaldaría la idea de que la conectividad temporal es un epifenómeno del componente energético. Pero, por otro lado, una vez establecidos estos comportamientos temporales, la

²⁴ El paso de una estructura radial a una reticular, como podría observarse en una empresa familiar, no responde a una trayectoria predeterminada, sino a una combinación de factores como la necesidad de gestionar la creciente demanda de compromisos, la preparación de sus miembros y la delegación de responsabilidades. En este proceso, los "avances" y "retrocesos" no son contradictorios, sino manifestaciones de una adaptación constante. Las formas anteriores no desaparecen del todo, sino que permanecen como capas activas en la estructura, listas para reorganizarse ante nuevas circunstancias.

²⁵ En otras palabras, la energía es la fuerza motriz detrás de todas las interacciones y cambios; el espacio proporciona el contexto físico y estructural donde ocurren dichas interacciones y el tiempo marca el ritmo y secuencia de los procesos de cambio y evolución.

conectividad temporal puede a su vez influir en la modulación de la energía y en la reorganización estructural de los sistemas, actuando como un factor activo en la generación de complejidad.²⁶

Hacemos notar que entre los tres componentes se da una interacción dinámica, circular y evolutiva. Desde nuestro abordaje, sostenemos que cada una de estas posibilidades organizativas y de fluctuación, presentan cierta tendencia y comportamientos asociados: cooperación, competencia, dependencia y distintas relaciones simbióticas, entre otras.

Si bien abordaremos estos conceptos en mayor profundidad más adelante, ya podemos citar algunos ejemplos en los que se observa claramente la interacción entre los flujos de energía, la morfología estructural y la conectividad temporal.

Nos preguntamos, por ejemplo, qué tipo de interacción entre los componentes de un sistema complejo como una planta se tiene que dar para que la misma adopte una forma reticular (una estructura similar a una red) o rizomática (una estructura con ramificaciones subterráneas interconectadas). De hecho, hay una interacción específica entre los flujos de energía y la morfología estructural que canaliza su desarrollo en una de esas direcciones.

Se puede observar que cuando los sistemas de contacto (solar, hídrico, biológicos por sus nutrientes) y sus flujos de energía están distribuidos de manera más homogénea y sostenida, las interacciones favorecen una estructura de red, donde la planta expande su crecimiento horizontal o en múltiples direcciones de manera equilibrada. Este tipo de energía "distribuida" permite la creación de conexiones fuertes entre diferentes partes del sistema, optimizando la absorción de recursos desde diversos puntos. En cambio, si los flujos de energía, como los nutrientes o el agua, se concentran en áreas específicas, la planta desarrolla una estructura rizomática,

²⁶ Fritz-Albert Popp demostró que las emisiones de biofotones (energía luminosa) en sistemas biológicos están estrechamente relacionadas con ritmos temporales, lo que sugiere una interacción recíproca entre energía y temporalidad en la regulación del proceso.

extendiendo sus rizomas hacia esas áreas ricas en energía. Esta forma le permitiría aprovechar puntos concentrados de energía, como reservas localizadas de nutrientes en el suelo o fuentes de agua subterráneas.

En conclusión: si la morfología estructural de la planta responde a una distribución uniforme de los recursos, cada parte de la planta crecería de manera sinérgica y conectada, de forma radial o reticular maximizando la exposición a los recursos externos (luz solar, espacio aéreo o suelo, etc.). En este caso, la planta busca maximizar su interacción con los otros sistemas en múltiples direcciones. Pero si la estructura es rizomática es por la necesidad de ser más adaptativa a la exploración en busca de recursos. La planta desarrollaría extensiones subterráneas que actúan como "exploradores" energéticos, adaptándose a los flujos de energía concentrados en ciertas áreas. Esta expansión más descentralizada y modular permite a la planta colonizar espacios con parches de nutrientes, conectando partes dispares del sistema subterráneo con la energía disponible.²⁷

Podemos brindar otros ejemplos donde se visualiza la interacción entre estos tres componentes:

- **Galaxias espirales:** La morfología estructural de las galaxias espirales (como la Vía Láctea) facilita un flujo eficiente de energía a lo largo de sus brazos. Los flujos de energía aquí incluyen la distribución de gas, estrellas y polvo, que se redistribuyen dinámicamente en espirales debido al momento angular generado por la rotación de la galaxia. Esta distribución equilibra las fuerzas gravitacionales, manteniendo la estabilidad de la estructura. La conectividad temporal se observa en cómo las interacciones gravitacionales y el movimiento

²⁷ Se pueden consultar, al respecto: 1) Stiefkens, Laura Beatriz, et al. Morfología Vegetal: Guía de Trabajos Prácticos. Sima Editora, 2017. 2) Mesa López, Neftalí. Manual de Morfología Vegetal Externa. Grupo de Investigación en Genética y Biotecnología Vegetal y Microbiana de la Universidad del Tolima (GEBIUT), Universidad del Tolima, 2020.

estelar generan ciclos de formación estelar, donde la energía se transforma y reutiliza a lo largo de millones de años.

- **Celdas hexagonales en panales de abejas:** La morfología estructural hexagonal optimiza el uso del espacio y los materiales. En términos de flujos de energía, las abejas minimizan el gasto energético en la construcción del panal, ya que el hexágono tiene la mejor relación área-perímetro, lo que requiere menos cera para almacenar la mayor cantidad de miel. La conectividad temporal aquí se manifiesta en la sincronización de la construcción de celdas, que sigue un formato coordinado entre las abejas para asegurar que la estructura crezca de manera eficiente y estable en el tiempo.
- **Paredes celulares de plantas:** En las plantas, las paredes celulares están formadas por celulosa, que otorga tanto rigidez como flexibilidad. Esto permite un soporte estructural óptimo mientras facilita el intercambio de nutrientes y agua, aspectos fundamentales en los flujos de energía relacionados con la fotosíntesis. La conectividad temporal se evidencia en el ciclo diario de la fotosíntesis, donde las plantas aprovechan la energía solar de manera rítmica, almacenando y distribuyendo los productos de la fotosíntesis para su crecimiento a lo largo del día y la noche.
- **Reactores de fusión nuclear (Tokamak):** En los reactores de fusión como el Tokamak, la morfología estructural toroidal es esencial para confinar el plasma a temperaturas extremas. Los flujos de energía aquí implican el movimiento de partículas altamente energéticas dentro del plasma, donde la forma del Tokamak asegura que el plasma permanezca confinado por más tiempo, reduciendo la pérdida de energía. La conectividad temporal es crucial, ya que la fusión solo se puede mantener durante cortos períodos de tiempo en los que las condiciones de temperatura y presión son óptimas para que los iones se fusionen y liberen energía.

Estos ejemplos muestran cómo los flujos de energía, la morfología estructural y la conectividad temporal interactúan en

sistemas naturales y artificiales, optimizando la eficiencia energética y asegurando la estabilidad y evolución de los sistemas a lo largo del tiempo.²⁸

Por último, debemos entender, como corolarios necesarios luego de la delimitación que hicimos del objeto de estudio, las siguientes características de los sistemas:

1. No hay nada en el universo que no sea parte de un sistema:

Todo sistema está constituido por una red de interacciones dinámicas y evolutivas entre componentes. Las partes no se entienden de forma aislada, sino en función de sus relaciones internas y externas. El universo está compuesto por una infinidad de sistemas interconectados que se forman y evolucionan en diversos niveles de complejidad. Cada partícula, objeto o estructura observable es parte de un sistema mayor, ya sea un sistema físico, biológico o conceptual. No existe ninguna entidad que no pertenezca a un sistema, lo que implica que no hay islas de aislación en la realidad observable.

2. Todos los sistemas están conectados o imbricados:

Este principio resalta que los sistemas no existen de manera independiente. En cambio, están interconectados e imbricados unos con otros, generando interacciones dinámicas que determinan su comportamiento. La imbricación es clave en el SSC, ya que abarca tanto la interrelación entre sistemas como el solapamiento de sus componentes y funciones. Por ejemplo, el sistema biológico está imbricado con el macroscópico, y ambos interactúan con el sistema de micropartículas.

3. No hay vacíos entre los sistemas; ni medio, ni ambiente, ni entorno:

²⁸ El SSC, al definir los componentes de un sistema complejo da un salto cualitativo que permite pasar de una comprensión intuitiva a una fundamentada en hechos concretos y medibles. Esta distinción es crucial porque el SSC no se contenta con describir propiedades emergentes, sino que busca una base sólida en interacciones definidas, como lo hacen algunos enfoques de las Teorías de la Complejidad. La definición de los componentes (flujos de energía, morfologías estructurales y conectividad temporal) en el SSC proporciona un marco más riguroso y menos dependiente de intuiciones y generalizaciones abstractas.

Este principio sostiene que no hay espacios vacíos ni una separación física o conceptual entre los sistemas. El "medio" o el "ambiente" no son externos a los sistemas; más bien, son parte de una red continua de interrelaciones. La energía, la información y la materia fluyen sin vacíos, lo que significa que cada sistema afecta y es afectado por otros en una compleja red de influencias mutuas.

4. Sólo de manera abstracta se pueden pensar sistemas cerrados:

Aunque es útil en algunos contextos teóricos o modelos simplificados hablar de sistemas cerrados (donde no hay intercambio de energía, materia o información con el exterior), este tipo de sistema no existe en la realidad. Todos los sistemas reales están abiertos a interacciones con su entresistema. Los sistemas cerrados sólo pueden ser pensados como abstracciones o modelos teóricos para simplificar el análisis en ciertas disciplinas.

5. Los sistemas son construcciones del sistema observador-desarrollador humano:

Este principio subraya la naturaleza constructivista del SSC. Los sistemas, tal como los percibimos y entendemos, son el resultado de las herramientas cognitivas, tecnológicas y conceptuales que los seres humanos han desarrollado para observar, describir y modelar la realidad. Esto implica que la comprensión de cualquier sistema es una construcción relativa, basada en la interacción entre el observador y el objeto de estudio.

SEGUNDO PRINCIPIO: En los sistemas complejos hay coexistencia de funciones estabilizadoras, coemergencias sincrónicas y fluctuaciones asimétricas secuenciales (innovaciones progresivas).

Para el Saber Supercomplejo (SSC), en los sistemas complejos existe una coexistencia dinámica entre funciones estabilizadoras, coemergencias sincrónicas y fluctuaciones asimétricas secuenciales, que permite comprender tanto la estabilidad como la transformación. Las acciones estabilizadoras aseguran la organización funcional del

sistema al sincronizar los flujos de energía y optimizar su estructura en el presente. A su vez, las convergencias sincrónicas organizan componentes y funciones en interacción simultánea, logrando configuraciones morfológicas cohesionadas y estables. Por otro lado, las fluctuaciones asimétricas secuenciales introducen desequilibrios progresivos, reorganizando las morfologías estructurales y reconfigurando las conectividades temporales, lo que da lugar a innovaciones y adaptaciones evolutivas. Es a través de esta combinatoria dinámica, en la que los flujos energéticos son gestionados de manera eficiente, las estructuras se reorganizan constantemente y las temporalidades se entrelazan, donde se equilibran la estabilidad funcional y el cambio adaptativo, asegurando así la evolución y la supervivencia del sistema.²⁹

Estos comportamientos interactivos, que en ocasiones podrían percibirse como opuestos -estabilidad y emergencia, compresión y expansión, sincronicidad y secuencialidad-, no sólo coexisten, sino que son los motores de la evolución, transformación y continuidad de los sistemas complejos. En un proceso estocástico y evolutivo, emergen fenómenos que explican a gran escala la complejidad del universo y la vida. Al organizar estos comportamientos según su rol en los sistemas complejos, se pueden identificar tres grandes grupos: los productores de estabilidad provisoria, los impulsores de coemergencias sincrónicas y los generadores de fluctuaciones asimétricas que conducen a emergencias secuenciales e innovaciones progresivas.

²⁹ Los flujos de energía son el motor que alimenta y mantiene los sistemas complejos, ajustándose constantemente para sincronizarse y distribuirse de manera eficiente. Este proceso genera equilibrios dinámicos que aseguran la estabilidad temporal. Al mismo tiempo, la morfología estructural refleja cómo los componentes de un sistema se organizan espacialmente, facilitando interacciones sincrónicas que optimizan la funcionalidad y cohesionan el sistema. La conectividad temporal añade una dimensión evolutiva, describiendo cómo las interacciones dentro de un sistema cambian y se reorganizan en el tiempo. Las fluctuaciones asimétricas secuenciales rompen los equilibrios establecidos, introduciendo desequilibrios progresivos que reconfiguran tanto las estructuras como las conexiones temporales, impulsando innovaciones y adaptaciones evolutivas.

Los procesos que generan estabilidad provisoria son fundamentales para establecer estructuras y equilibrios temporales en los sistemas complejos. Ejemplos de ello son la cristalización, donde los átomos se organizan en redes reticulares tridimensionales; la configuración estable de órbitas planetarias mediante las interacciones gravitatorias; las corrientes oceánicas, que regulan el clima y transportan nutrientes; y los anillos de crecimiento en los árboles, que evidencian ciclos temporales de adaptación a condiciones de interacción con otros sistemas. En el ámbito biológico, se observa en la estabilidad autoorganizada de la doble hélice del ADN, en las membranas celulares que mantienen la integridad funcional y en las estructuras óseas, cuya combinación de compacidad y porosidad garantiza resistencia y adaptabilidad.

Por su parte, los comportamientos que impulsan coemergencias sincrónicas favorecen la autoorganización y eficiencia sistémica, permitiendo interacciones constantes. Ejemplos de estos procesos incluyen las bandadas de aves, cuyo vuelo coordinado reduce el consumo energético y mejora la aerodinámica y las redes de transporte en hojas, que optimizan la distribución de nutrientes y agua. En los ecosistemas, las redes tróficas permiten la interacción estable entre productores, consumidores y descomponedores, mientras que las estructuras de arrecifes de coral y sistemas de raíces con micorrizas promueven la adaptabilidad y cooperación, optimizando la generación de hábitats complejos. A nivel neuronal, la plasticidad de las redes permite la reorganización funcional del sistema nervioso, facilitando el aprendizaje y la memoria en respuesta a estímulos de otros sistemas.

Los generadores de fluctuaciones asimétricas y emergencias secuenciales introducen transformaciones fundamentales que impulsan innovaciones evolutivas por efecto de la inflación cósmica, dieron lugar a las primeras estructuras de este universo. Las transiciones de fase en el enfriamiento temprano del cosmos

permitieron la aparición de partículas y estructuras ajustadas, mientras que la nucleosíntesis primordial originó los primeros elementos ligeros que sirvieron como base para la formación de estrellas iniciales. En etapas posteriores, la asimetría entre materia y antimateria, el efecto túnel cuántico y la fusión nuclear permitieron el surgimiento de elementos pesados y la liberación de energía.

En el plano biológico, la autocatálisis y las mutaciones genéticas desempeñan roles cruciales en la aparición de nuevas formas de vida, mientras que la especiación y la adaptación facilitan la diversificación y optimización de los organismos. A nivel cognitivo y cultural, los procesos de coevolución generaron redes de interdependencia compleja, donde la conciencia, la cognición y el aprendizaje posibilitaron la emergencia de nuevas estructuras sociales y tecnologías. En el ámbito de la inteligencia artificial, fenómenos como las redes neuronales convolucionales, las redes generativas antagónicas y el aprendizaje profundo representan ejemplos contemporáneos de innovaciones progresivas en sistemas complejos, revolucionando la capacidad de procesamiento y generación de conocimiento.

De esta manera, los sistemas complejos se desarrollan a través de un equilibrio dinámico entre estabilidad provisoria, coemergencias sincrónicas y fluctuaciones asimétricas, lo que da lugar a la continua generación de nuevas estructuras y comportamientos. Estos procesos evidencian que la complejidad del universo no puede reducirse a patrones lineales ni simplificados, pues surge de la interacción dinámica entre flujos energéticos, morfologías estructurales y conectividades temporales, tanto dentro de los sistemas como en sus interacciones multiescalares.

Desde la perspectiva del SSC, las anomalías y fluctuaciones observadas en los sistemas complejos no constituyen rupturas en un esquema rígido, sino lesiones naturales de la interacción continua entre estabilidad, sincronización y emergencia. En lugar de

interpretarlas como excepciones o desvíos, el SSC las concibe como expresiones propias de la dinámica supercompleja, donde múltiples procesos interactúan en distintos niveles y escalas. Esto implica que lo aparentemente anómalo no es que más el resultado de combinatorias fluctuantes que generan comportamientos emergentes y nuevos ajustes. Así, los fenómenos que la ciencia clásica interpreta como irregularidades pueden entenderse como partes de un proceso continuo y evolutivo donde la complejidad se despliega en un entretejido de estabilidad provisional, coemergencias sincrónicas y fluctuaciones asimétricas, integrando tanto patrones transitorios como transformaciones profundas.

Desde esta perspectiva, el universo se concibe como un tejido interconectado de energía, interacciones y evolución, donde las causas de la complejidad se entrelazan y generan la rica diversidad que caracteriza nuestra realidad. El paradigma del SSC permite capturar estas interacciones profundas, mostrando que la evolución, transformación y continuidad de los sistemas complejos dependen de esta dinámica entre estabilidad, sincronización y desequilibrio progresivo.³⁰

TERCER PRINCIPIO: Coexisten tres macrosistemas: el micropartículas, el macroscópico y el biológico, con sus correspondientes niveles de complejidad y solapamientos.

Desde nuestra perspectiva, coexisten solapadamente tres tipos de macrosistemas descriptores de la realidad: micropartículas; macroscópico y biológico. Para el Saber Supercomplejo (SSC), cada

³⁰ La complejidad surge de este equilibrio dinámico entre estabilidad y cambio, donde los flujos de energía, las estructuras morfológicas y las conexiones temporales no sólo coexisten, sino que se entrelazan en un proceso evolutivo y estocástico. Así, los sistemas complejos generan y transforman continuamente nuevas formas y funciones, desafiando cualquier intento de reducción a patrones lineales o simplificados. Este tejido interconectado de energía, espacio y tiempo explica la rica diversidad de la realidad, mostrando cómo las fuerzas de estabilidad y emergencia, sincronía y secuencialidad se combinan para modelar la evolución, transformación y continuidad de los sistemas complejos en el universo y en la vida.

uno de estos macrosistemas presenta una modalidad y evolución de complejidad particular, que es la que precisamente define al macrosistema.

- **Macrosistema micropartículas:** Este macrosistema abarca las partículas subatómicas que componen la materia, como electrones, protones, neutrones y sus partículas fundamentales (quarks, gluones, etc.), así como las partículas más elementales que interactúan según las leyes de la física cuántica. También incluye los bosones como el fotón (partículas de luz) y el bosón de Higgs, que da masa a otras partículas.
- **Macrosistema macroscópico:** Este macrosistema comienza donde los átomos se combinan para formar moléculas y estructuras más grandes. También abarca los organismos no biológicos (materiales inertes), las estructuras geológicas (planetas, montañas). Se extiende hasta las escalas planetarias y galácticas, abarcando desde la materia que compone los objetos cotidianos, las formaciones terrestres, los sistemas planetarios, hasta las galaxias y cúmulos galácticos.
- **Macrosistema biológico:** Este macrosistema empieza a nivel celular, con las primeras formas de vida basadas en células procariotas o eucariotas y abarca la bioquímica esencial para la vida (ADN, proteínas, metabolismo). Aquí se incluyen los organismos unicelulares y multicelulares. Se extiende hasta ecosistemas globales, con interacciones biológicas que van desde la interacción celular hasta el comportamiento de comunidades y ecosistemas enteros, incluyendo a los animales no humanos y humanos y todas sus producciones.

Los tres macrosistemas -micropartículas, macroscópico y biológico- representan diferentes niveles de complejidad, cada uno con su propio conjunto de características que organizan la realidad de manera particular.³¹ Por tanto, los macrosistemas no son entidades

³¹ Esta clasificación es desarrollada con más detalle en el capítulo seis.

independientes, sino resultados emergentes de un proceso continuo y multiescalar, donde las dinámicas entre estabilidad, sincronización y desequilibrio progresivo generan la diversidad y la complejidad observadas en el universo.

El macrosistema de micropartículas se caracteriza por una complejidad cuántica, donde las interacciones energéticas son no deterministas y probabilísticas, regidas por fenómenos como la superposición y el entrelazamiento cuántico. A este nivel, las partículas no tienen una morfología estructural fija y sus comportamientos son estocásticos y altamente impredecibles, lo que las convierte en el nivel más abstracto y dinámico de complejidad, en interacción permanente con los otros macrosistemas.

En el macrosistema macroscópico, la complejidad supone una excepción de las leyes de la física clásica y emerge cuando estos sistemas se autoorganizan y generan comportamientos complejos y no predecibles como en la formación de galaxias, fenómenos atmosféricos o combinación de elementos químicos.

En el macrosistema biológico, la complejidad está centrada en la adaptación y la evolución -siempre estratégica y por ello novedosa- de organismos vivos. Los flujos de energía metabólica permiten a los organismos mantenerse vivos, crecer y reproducirse administrando sus posibilidades de supervivencia en la construcción de distintas interacciones entre los flujos de energía, las morfologías estructurales y la conectividad temporal.

Cada macrosistema tiene, además, un evento fundante. En el caso del macrosistema de micropartículas, este evento es la inflación cósmica, un proceso de expansión rápida y multiversal que dio lugar a las partículas elementales y las condiciones necesarias para la formación de la realidad observable. Más que un punto inicial absoluto, el universo emerge como parte de una dinámica más amplia de fluctuaciones cuánticas y expansión energética. El macrosistema macroscópico está marcado por la formación de estrellas y galaxias,

estructuras que moldearon el universo tal como lo observamos hoy. Por su parte, el macrosistema biológico se inicia con el surgimiento de la réplica celular y la vida. Marca la aparición de sistemas biológicos capaces de evolucionar y adaptarse, lo que lleva a niveles de organización y complejidad aún mayores en el universo. Cada uno de estos eventos representa hitos cruciales en la progresión de la complejidad en el universo, desde las partículas más pequeñas hasta la vida misma.

Ahora bien, consideramos que entre estos macrosistemas los límites no son estrictos y que se observan áreas de solapamiento y transición entre ellos, con límites difusos y fenómenos influenciados por múltiples niveles de complejidad. En otras palabras, existe un triple solapamiento bidireccional dinámico entre los tres macrosistemas lo que los hace mucho más complejos e interconectados. Por ello, el estudio de un nivel de complejidad, a menudo, requiere comprensión y herramientas de otro.³²

Sin perjuicio de ello, debemos decir que, en general ha sido el macrosistema macroscópico (lo físico más lo químico sin incluir lo biológico) el que ha centralizado la desagregación de descriptores de complejidad, a nuestro juicio, producto del desarrollo lógico de la ciencia y de los instrumentos de observación y medición. Por esto, más allá de la existencia de descriptores compartidos, a raíz del solapamiento e interconexión aludidos anteriormente, proponemos descriptores propios de cada macrosistema que se ajustan a la naturaleza de cada uno de éstos.

Como veremos más adelante, el SSC propone descriptores energéticos, espaciales y temporales para describir la complejidad en cada macrosistema. En tal sentido, se presentan descriptores específicos como los vinculados al entrelazamiento, la superposición

³² Consideramos que a los tres macrosistemas generales les corresponde un tipo de complejidad que le es propia: macrosistema micropartículas y Cuanticomplejidad; macrosistema macroscópico y Macrocomplejidad; macrosistema biológico y Biocomplejidad.

y la decoherencia en el macrosistema micropartículas. Por su parte, en el macrosistema biológico la complejidad, como veremos, está atravesada por funciones de autonomía, metabólicas, reproductivas, cognitivas (conciencia) y de aprendizaje (cómputo, mapeo y cronometraje). Desde esta mirada, se advierte la imposibilidad de una definición única de la complejidad, se trata de modalidades predominantes de energía y estructura diferentes. En otras palabras, sólo es posible mensurar niveles de complejidad al interior de cada macrosistema.

Desde nuestra perspectiva, es factible abordar la realidad utilizando y combinando los sistemas mencionados, tanto dentro de cada macrosistema como a nivel inter-macrosistema. Esta aproximación se basa en la premisa de que la complejidad es inherentemente combinatoria e interdependiente. Tal metodología facilita una comprensión más fluida de la naturaleza de los numerosos sistemas complejos existentes y fomenta la adopción de enfoques interdisciplinarios. Además, la integración de diversos sistemas proporciona un marco innovador esencial para enfrentar los desafíos globales actuales, aprovechando la experiencia de distintas disciplinas.

En el cuarto principio, vamos a mostrar como a la complejidad propia de cada una de estos macrosistemas, se le debe agregar un nuevo nivel de complejidad, la “supercomplejidad”.

CUARTO PRINCIPIO: La supercomplejidad añade nuevos niveles a la complejidad mediante el solapamiento de macrosistemas y la modificación activa, reconfigurada tanto cognitiva como tecnológicamente por el observador-desarrollador humano.

Otro grupo de causas que concurre a la formación de un nuevo nivel de complejidad, que nosotros llamaremos “supercomplejidad”, es el hecho de que los macrosistemas se encuentran solapados, con

espacios de superposición e influyéndose constantemente; asimismo, las intervenciones de los investigadores en aras de modificar, explicar o intervenir sistemas por medio de mapas dinámicos de supercomplejidad (MDS) y algoritmos, también concurre en la formación final de esta “supercomplejidad”.

Para el Saber Supercomplejo (SSC) hay tres modalidades de complejidad y dos de supercomplejidad.

Tres modalidades de Complejidad:

1. **Microcomplejidad:** Este es el nivel cuántico, donde la complejidad emerge a partir de interacciones entre partículas subatómicas. Los fenómenos como la superposición y el entrelazamiento cuántico son ejemplos de cómo las interacciones en este nivel son probabilísticas y no deterministas, gobernadas por las leyes de la mecánica cuántica.
2. **Macrocomplejidad:** Este nivel incluye los sistemas a gran escala, como planetas, estrellas y galaxias. Los procesos físicos clásicos como la gravedad y las leyes newtonianas de la física son los principales factores que regulan las interacciones en este nivel. Ejemplos de complejidad macroscópica incluyen el clima, la dinámica de fluidos y la autoorganización de sistemas físicos como las estrellas.
3. **Biocomplejidad:** A nivel biológico, la complejidad se manifiesta a través de las interacciones entre los organismos vivos y sus sistemas de contacto. La adaptación, la evolución, el metabolismo y la reproducción son algunos de los comportamientos clave en este nivel, impulsados por la energía metabólica y las interacciones con otros seres vivos y demás sistemas.

Dos Niveles de Supercomplejidad:

Primer Nivel de Supercomplejidad: El Triple Solapamiento.

En este nivel, se produce el solapamiento entre los tres macrosistemas: micropartículas, macroscópico y biológico. Aquí, las propiedades emergentes surgen de la interacción entre sistemas. Por

ejemplo, cómo los procesos cuánticos influyen en los sistemas biológicos o cómo los factores macroscópicos (como el clima) afectan la vida en la Tierra. Este solapamiento genera comportamientos nuevos que no pueden preverse simplemente al estudiar cada sistema por separado. La interacción entre los sistemas complejos lleva a fenómenos emergentes más allá de las propiedades individuales de cada macrosistema.

Segundo Nivel de Supercomplejidad: Sumatoria entre el triple solapamiento + el funcionamiento cognitivo del cerebro + Tecnología (Sistemas Tecnoingenieriles y Ciberanalógicos) en especial Deep Learning e Inteligencia Artificial:

Este nivel añade una dimensión adicional con la participación del cerebro humano y la tecnología avanzada. El cerebro no solo observa, sino que modifica los sistemas complejos con los que interactúa. Por un lado, el cerebro humano actúa como un agente que retroalimenta y reconfigura los sistemas, lo que introduce una nueva capa de complejidad cognitiva. Es que el cerebro humano tiene la capacidad de reconfigurar sus propios "cableados" a medida que interactúa con sistemas complejos. Este proceso de neuroplasticidad permite que el ser humano no solo observe la realidad, sino que también cambie su percepción y las herramientas que utiliza para interactuar con ella.³³

Por otro lado, la tecnología avanzada, como los sistemas ciberanalógicos y las infraestructuras tecnoingenieriles, intervienen en la interacción de los sistemas complejos. Estos sistemas combinan

³³ La construcción, predicción y modificación de sistemas supercomplejos exige un sujeto observador y desarrollador que abrace y desarrolle su propia supercomplejidad. En este sentido, el sujeto debe ser consciente de su propia naturaleza compleja y de su papel como un ser multifacético que interactúa con diversos niveles de realidad. Debe reconocer que su identidad, conocimiento y acciones están profundamente interconectados e interdependientes con los macrosistemas que lo rodean. Además, debe aceptar que su realidad es dinámica y en constante transformación, lo que implica la necesidad de adaptarse y ser flexible en sus enfoques y estrategias.

la complejidad tecnológica y la biológica, permitiendo la gestión y modificación de sistemas biológicos, físicos y sociales a través de la tecnología. Un ejemplo serían las redes neuronales artificiales (deep learning), que tienen un impacto directo en sistemas biológicos y tecnológicos, ayudando a procesar grandes volúmenes de datos y modificar comportamientos sistémicos en tiempo real.

Además, los sistemas de IA introducen una nueva modalidad de emergencia cibernética, donde los algoritmos de aprendizaje automático interactúan con sistemas biológicos y físicos para generar nuevas soluciones, predicciones y modelos de interacción que los seres humanos no podrían crear por sí mismos. Aquí, la tecnología y la inteligencia artificial permiten nuevas formas de interacción y modificación de sistemas. Los sistemas tecnoingenieriles y ciberanalógicos permiten que los sistemas complejos se adapten y autogestionen, agregando una dimensión dinámica de control y evolución a los sistemas biológicos y físicos, una dimensión de supercomplejidad.

El SSC redefine la supercomplejidad como un proceso dinámico, expansivo y multidimensional, que no se limita a la observación de los sistemas complejos, sino que incorpora la modificación activa y reconfiguración cognitiva y tecnológica. Esto habilita la visualización -y eventual modificación- de nuevos eventos, nuevas combinaciones y nuevas circularidades en el universo, la vida y el cerebro humano. Esto lo diferencia de los enfoques tradicionales sobre la complejidad al introducir la interacción bidireccional y evolutiva entre el cerebro humano, los macrosistemas y las herramientas tecnológicas avanzadas, creando un paradigma expansivo que abre nuevas posibilidades de descripción, predicción y transformación de los sistemas. Es por eso que el SSC se construye como una alternativa integradora a la vez que superadora de la concepción de la ciencia clásica, del Saber Complejo (Morín) y de las Ciencias de la Complejidad (SFI).

Ante la ciencia clásica, el SSC argumenta que los fenómenos complejos no siempre pueden ser reducidos a leyes universales constantes. Muchos comportamientos del universo son estocásticos y no deterministas y requieren de mapas dinámicos (MDS), no de patrones fijos. En lugar de buscar constantes, el SSC busca entender las interrelaciones y cómo los sistemas evolucionan en función de sus interacciones y considera que las constantes físicas no son absolutas, sino aproximaciones funcionales que dependen del contexto de medición y del nivel de interacción entre sistemas. La introducción de ruido, asimetrías y no linealidad en sistemas reales revela que estas constantes están sujetas a variaciones.³⁴

Mientras que la ciencia clásica confía en leyes y patrones fijos (como la ley de la gravedad o las constantes cuánticas), el SSC cuestiona la permanencia de estas constantes bajo condiciones extremas o en escalas no exploradas. Además, propone mapas que ilustran la evolución y el comportamiento emergente de sistemas complejos, superando la rigidez de los modelos deterministas de la ciencia clásica.³⁵

Morin plantea una visión más filosófica de la complejidad, el SSC, en cambio, propone que los sistemas pueden ser intervenidos y modificados mediante herramientas tecnológicas avanzadas. La capacidad de intervenir activamente en los sistemas complejos,

³⁴ La idea de que las constantes físicas pueden depender del contexto no es nueva. Los trabajos de Barrow, Webb, Uzan y Magueijo para respaldar la idea desde la física teórica y observacional. Además, las ideas de Dirac o Kaluza-Klein podrían ampliar la discusión.

³⁵ A modo de ejemplo, los movimientos de la Tierra no son causados por un único factor, sino por una interacción entre sistemas internos (como la dinámica del núcleo terrestre) y externos (gravitación solar, lunar y de otros planetas). Esto refleja la naturaleza sistémica e interdependiente de los fenómenos. Los fenómenos como la precesión, la nutación o el bamboleo de Chandler son dinámicos y dependen de variables que cambian con el tiempo, como la redistribución de masas en la Tierra o las variaciones gravitacionales externas. Esto es coherente con la postura del SSC de que las "constantes" son en realidad relativas y temporales. Por último, los sistemas implicados (la Tierra, la Luna, el Sol, otros planetas) no actúan de manera aislada, sino que sus efectos se combinan y solapan, generando complejidad. Este paradigma combinatorio refleja el núcleo del SSC: entender los sistemas como redes interactivas y dinámicas.

utilizando IA y tecnología, otorga al SSC una aplicabilidad científica y tecnológica que el Pensamiento Complejo no contempla plenamente.

Por último, el SSC expande las Ciencias de la Complejidad al incorporar una visión relacional e intersistémica y se despega de las mismas por su dependencia excesiva a la sensibilidad a las condiciones iniciales y la formación de patrones. El SSC cuestiona la aplicabilidad universal de esta premisa, indicando que muchos sistemas complejos no responden a la sensibilidad inicial de manera determinista. Además, sostiene que los mal llamados patrones sólo se producen en ocasiones específicas y no deben ser considerados un descriptor central de todos los sistemas. Se valoran de las Ciencias de la Complejidad sus modelizaciones matemáticas pero el SSC propone, además, que la inteligencia artificial, la ciencia de datos, las neurociencias y los sistemas tecnoingenieriles intervengan en la modificación y optimización de los sistemas complejos en tiempo real.

QUINTO PRINCIPIO. El constructivismo complejo multiescalar es la base epistemológica y la multicausalidad probabilística es el punto de partida de una nueva concepción de la ciencia.

El Saber Supercomplejo (SSC) se fundamenta en un constructivismo complejo multiescalar, entendido como un modelo que integra un constructivismo moderado o "cotejado con los hechos", con la actividad del cerebro humano y el uso de tecnologías avanzadas para modelar y transformar sistemas complejos.

Este constructivismo reconoce que nuestra comprensión y descripción de la realidad se construyen a partir de nuestras experiencias, interacciones, capacidades cognitivas y herramientas tecnológicas. Aunque esta construcción está inevitablemente condicionada por nuestras limitaciones como observadores, es posible identificar comportamientos consistentes y fenómenos recurrentes que sugieren la existencia de un marco relacional que

trasciende nuestras percepciones individuales. Sin embargo, esta 'realidad objetiva' no debe entenderse como algo fijo, absoluto o independiente de nuestras interacciones, sino como un proceso dinámico, emergente y multiescalar que integra nuestras observaciones como parte del sistema que describe. No hay un orden oculto esperando ser descubierto, sino una realidad que se reconfigura. La incertidumbre epistemológica nace, entonces, de una incertidumbre ontológica.

Desde esta perspectiva, la realidad no es simplemente un objeto externo que observamos, sino una red de interacciones donde los observadores y las herramientas de observación desempeñan un papel activo en su configuración. Este paradigma reconoce que cualquier descripción está intrínsecamente ligada a los sistemas en interacción, a las herramientas y a las escalas empleadas para observar.

Al intentar modelar o representar sistemas complejos, nuestras herramientas humanas -como el lenguaje, las matemáticas, las tecnologías avanzadas y las convenciones culturales- median inevitablemente estas aproximaciones. Este proceso de mediación genera lo que el SSC denomina "formateo social", un fenómeno mediante el cual nuestras descripciones y modelos emergen del contexto histórico, educativo y cultural que compartimos.³⁶

La “distorsión” con la que observamos la realidad implica que vemos algo ya desde nuestras experiencias previas y, en tal sentido, hacemos un recorte. En este enfoque, la percepción de la realidad no solo está filtrada por las experiencias previas y las estructuras cognitivas individuales, sino también por la red de sistemas interconectados en los que esas experiencias se inscriben. Cada

³⁶ La noción de "formateo social" se alinea con las ideas de la sociología del conocimiento científico, como las de Bruno Latour y David Bloor, que señalan como los factores sociales y culturales afectan la construcción de teorías científicas. Este concepto también se acerca a las ideas de Michel Foucault sobre cómo los discursos y las prácticas culturales configuran el conocimiento.

sistema de referencia aporta una capa adicional de significado, amplificando o atenuando ciertos aspectos del objeto percibido. Por ejemplo, un objeto cotidiano puede evocar significados distintos según su contexto cultural, emocional o funcional y, en consecuencia, será percibido de manera diferente por dos personas, ya que no solo registrarán distintos aspectos del objeto, sino que, además, lo vincularán con redes de sentido diversas y sistemas de referencia distintos.³⁷

En este sentido, el constructivismo complejo multiescalar sostiene que la percepción no es lineal ni uniforme, sino que se construye a partir de interacciones sistémicas múltiples, donde cada nodo relacional contribuye a configurar lo percibido. Esta perspectiva no sólo subraya la subjetividad del observador, sino que también enfatiza el carácter dinámico y evolutivo de las percepciones. A medida que los sistemas de referencia del sujeto se amplían, las interpretaciones del objeto pueden modificarse, revelando que la realidad es una construcción activa, relacional y en constante transformación.

Desde una perspectiva multiescalar, el SSC articula las interacciones entre los diferentes niveles de complejidad –micropartículas, macroscópico y biológico–, reconociendo cómo estas dinámicas afectan tanto la estabilidad como la emergencia de los sistemas.

El constructivismo complejo multiescalar redefine estos conceptos clave como componentes inseparables de los sistemas complejos, trascendiendo las limitaciones de los paradigmas

³⁷ Este posicionamiento puede encontrar resistencias desde dos frentes. Primero, desde los enfoques empiristas y realistas, que podrían objetar el énfasis en la percepción subjetiva y relacional, argumentando que esto diluye la posibilidad de establecer leyes universales y mensurables. En respuesta, el constructivismo complejo multiescalar no niega la existencia de la realidad objetiva, sino que subraya que cualquier medición está mediada por redes de relaciones y sistemas interconectados que modifican lo observado. En segundo lugar, desde los complejólogos científicistas o deterministas, que podrían percibir el componente subjetivo y relacional como una fuente de incertidumbre innecesaria. No obstante, desde la perspectiva del SSC, no se trata de complejizar por complejizar, sino de reconocer que los sistemas son interdependientes y que esa interdependencia impacta en cómo se perciben, describen y modelan.

deterministas tradicionales y abriendo nuevas posibilidades para la comprensión, el modelado y la transformación en la ciencia y la tecnología. Además, este constructivismo multiescalar considera que las herramientas de descripción, como algoritmos, simulaciones y mapas tetradimensionales, no sólo representan la trama sistemática, sino que también la modifican, estableciendo una relación circular entre conocimiento, tecnología y realidad. Asimismo, reconoce la dualidad entre lo concreto y lo abstracto en la interpretación de los componentes energéticos, temporales y espaciales. En este sentido, la energía, el tiempo y el espacio son constructos abstractos que emergen de las interacciones. Estas categorías no solo organizan el pensamiento, sino que también facilitan la intervención efectiva en los sistemas, posicionando al SSC como un paradigma dinámico e innovador para abordar la complejidad.

Desde nuestra mirada, la complejidad del universo y de la vida y la construcción del propio saber, coexisten y coevolucionan en una relación retroalimentada. Por lo tanto, el conocimiento y la realidad están entrelazados de manera natural y sustancial que resulta fundamental atender para comprender la naturaleza de ambos.

Este concepto dentro del SSC implica una posición activa en la construcción del conocimiento, pero va más allá del constructivismo tradicional al incorporar la complejidad de las interacciones sistémicas. En el SSC, el conocimiento no es simplemente una construcción mental o social, sino un proceso dinámico que emerge de la interacción entre flujos de energía, morfologías estructurales y conectividad temporal. Esto da lugar a un paradigma donde el conocimiento es visto como una red interdependiente que evoluciona en función de los cambios en sus componentes fundamentales.

El sujeto complejo, observador y desarrollador de sistemas complejos es parte de esa complejidad y por lo tanto es ilusorio pensar que puede permanecer objetivo y "ver desde fuera" la supercomplejidad del universo y de la vida. El es producto de la misma

y, por lo tanto, está “enredado”, es decir, su racionalidad, sus mapeos y sus intervenciones son construcciones atravesadas por las contradicciones entre lo tecnológico, lo autoconsciente, lo socio-relacional, lo simbólico y lo biológico. El sujeto “supercomplejo” no puede separarse de los sistemas que estudia y desarrolla, ya que es parte integral de ellos. Su comprensión y análisis están inherentemente limitados y condicionados por su propia naturaleza y experiencia como ser humano. Este enredo implica que sus percepciones, teorías e intervenciones están influenciadas por su contexto tecnológico, sus capacidades de autoconciencia, sus relaciones sociales, sus símbolos culturales y su biología.

La racionalidad del sujeto complejo es una construcción dinámica que refleja la intersección de múltiples dimensiones de la existencia humana, lo que desafía la noción tradicional de objetividad y subraya la necesidad de enfoques que reconozcan y aborden estas interconexiones. Paul Cilliers, en su libro "Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems", ofrece una visión crítica sobre la aplicación y la interpretación de las teorías de la complejidad, Cilliers es escéptico respecto a las teorías que pretenden ofrecer explicaciones universales para sistemas complejos, abogando en cambio por enfoques más contextuales y situacionales que reconozcan las particularidades de cada sistema, aceptando que el conocimiento completo y totalmente objetivo es inalcanzable y que siempre hay limitaciones en nuestra comprensión de los sistemas.

Bajo esta mirada, consideramos que el observador y el sistema son inseparables; como consecuencia, el conocimiento es construido en la interacción de los individuos con los sistemas, incluidas las combinaciones que veremos más adelante. Además, debemos subrayar que vemos la realidad a través de nuestras percepciones y filtros cognitivos, que están influenciados por nuestras experiencias, historias, vivencias, creencias y emociones. Por ello, el aporte constructivo del individuo estará signado por aquellos sistemas con

mayor preponderancia en sus respectivas vidas, resultando lógico que las miradas entre distintas culturas y civilizaciones sean tan plurales.

Newton, Galileo y Laplace veían un mundo ordenado y con leyes causales y deterministas. No veían la cantidad de perturbaciones que afectan a un sistema complejo y que las mismas son diferentes en diferentes escalas. En lugar de ver al universo como un sistema regido por constantes universales, el SSC propone modelos de realidad que están en evolución dinámica, reflejando la naturaleza estocástica, emergente y cambiante de los sistemas complejos. Esta perspectiva es mucho más flexible y se adapta mejor a la diversidad y multiescalaridad de los fenómenos que se observan en distintos niveles de la realidad, desde micropartículas hasta sistemas biológicos y tecnológicos.

En lugar de descomponer los fenómenos para entender sus componentes básicos, el SSC postula que el conocimiento surge de la interrelación entre sistemas complejos. Por tanto, no busca fórmulas definitivas, sino redes de interacción y flujos de energía que den cuenta de cómo los sistemas cambian y evolucionan.³⁸

Es por ello que el SSC no solo adopta una postura constructivista, sino que también introduce una distinción crítica que va más allá de las ideas generales de Von Foerster en la Cibernética de Segundo Orden. Para el SSC, el grado de construcción del observador varía en función del macrosistema en el que esté interactuando. Es decir, la influencia del observador no es uniforme en todos los sistemas: En el análisis de los macrosistemas, el papel del observador varía: en el macrosistema de micropartículas, el acto de observación influye directamente en el estado del sistema; en el macroscópico, su influencia es menor; y en los sistemas biológicos, la influencia

³⁸ Los sistemas rara vez pueden ser explicados completamente mediante enfoques lineales que solo consideran una variable independiente y una dependiente. La interacción de múltiples variables intervinientes suele ser clave para comprender, describir y predecir el comportamiento de estos sistemas. En investigaciones científicas, la combinación de variables interrelacionadas puede ofrecer una visión más rica y precisa, especialmente cuando se trata de fenómenos que no siguen comportamientos simples.

depende de la complejidad del organismo o sistema observado. Esta interacción subraya la complejidad inherente del conocimiento en relación con los sistemas que se estudian y desarrollan.³⁹

En el SSC, la complejidad del universo y de la vida coexisten y evolucionan en una relación de retroalimentación con el proceso de construcción del conocimiento. Sostenemos una co-construcción circular, activa y progresiva entre el cerebro humano y el universo, donde el cerebro no solo interpreta la realidad, sino que también la influencia a través de sus percepciones, experiencias y pensamientos. Esta relación dinámica implica que la adquisición de conocimiento es un proceso activo que afecta tanto al sujeto cognoscente como al objeto de conocimiento. Este paradigma también explica la pluralidad de interpretaciones entre distintas culturas, ya que cada individuo ve la realidad a través de los sistemas que predominan en su vida.

Finalmente, el constructivismo complejo multiescalar propone una manera dinámica de construir el conocimiento al considerar la interacción continua de los componentes fundamentales de los sistemas complejos, lo que podría generar tanto adhesiones como críticas desde otros enfoques, como los de Kauffman o Morin.

Por otra parte, el SSC promueve una ciencia (descriptiva, prescriptiva y desarrolladora) construida sobre la multicausalidad probabilística, sin que esto niegue la posibilidad de correlaciones lineales en una primera construcción de las variables intervinientes.

³⁹ En el ámbito cuántico, el acto de observación puede afectar el estado del sistema de manera directa. En sistemas macroscópicos, la influencia de la observación puede ser menos directa, pero aún así significativa, principalmente en contextos de investigación científica, donde la formulación de teorías y modelos puede influir en la dirección de la investigación y la interpretación de los datos. En los sistemas biológicos complejos, la relación entre el observador y el sistema varía dependiendo del enfoque escogido. En la investigación biológica, las hipótesis del investigador pueden influir en el diseño experimental y la interpretación de los resultados. Por su parte, cuando están involucrados seres humanos, la interacción entre el observador y el sistema se complejiza aún más, incluyendo la respuesta del sistema a ser observado.

En el universo, en efecto, muchos eventos y comportamientos no se pueden reducir o describir mediante leyes deterministas o lineales, sino que dependen de principios probabilísticos, como ocurre en los fenómenos cuánticos y en la periodicidad de los cometas, donde intervienen múltiples factores y pequeñas variaciones que no permiten una predicción exacta.

En tal sentido, la complejidad y la estocasticidad (como se subraya en el SSC) implican que hay muchos más eventos que no pueden describirse mediante leyes exactas que los que sí pueden. El caos determinista, la turbulencia en fluidos y las fluctuaciones estocásticas en sistemas dinámicos complejos son ejemplos de esto. Las fluctuaciones cuánticas y las dinámicas no lineales en sistemas como los de la meteorología y la astrofísica muestran cómo, a pesar de que existen leyes generales, las predicciones detalladas son extremadamente difíciles o imposibles.

El universo parece operar en muchos niveles con comportamientos emergentes y no lineales, donde las leyes universales sólo pueden aplicarse a dominios limitados y bajo condiciones ideales. La condición probabilística de los sistemas complejos es inherente e intrínseca y no debe entenderse como resultado de una falta de conocimiento o como una etapa transitoria hacia el descubrimiento de una ley determinista subyacente. Con ello, se abandona el ideal de un conocimiento 'exacto' aplicable a toda la realidad, aceptando en cambio que, en muchos casos, el conocimiento es probabilístico y contingente. Heisenberg, Bohr, Lorenz, Prigogine, Kauffman, Maldonado, Smolin y Bohm, entre otros, coinciden en que la probabilidad no es un defecto epistemológico, sino una propiedad ontológica de los sistemas complejos.

En resumen, aunque las leyes universales nos ofrecen herramientas para comprender fenómenos regulares y predecibles, existe una amplia variedad de sistemas complejos y estocásticos cuya naturaleza no puede ser completamente capturada por estas leyes.

Este reconocimiento no disminuye la validez de las regularidades científicas, sino que subraya la necesidad de integrar enfoques probabilísticos y de aceptar la incertidumbre como elemento clave para describir y modelar la realidad en su plenitud.⁴⁰

En la actualidad, comienzan a utilizarse enfoques que consideran tanto aspectos deterministas como probabilistas.⁴¹ Desde esta última mirada, aparece el concepto de estocasticidad para referir a sistemas o procesos que son parcialmente impredecibles, pero también parcialmente probabilísticos.

Desde la perspectiva del SSC, la complejidad se encuentra entre lo determinístico y lo probabilístico, sin excluir el análisis de ninguno de los dos aspectos. Por ello, es necesario tener presente tanto las interacciones lineales, como las no lineales y promover una ciencia construida desde la multicausalidad probabilística, concepto que refiere a la idea de que los eventos complejos son el resultado de múltiples causas que interactúan de manera no determinista y que pueden tener diferentes probabilidades de ocurrencia. Este paradigma reconoce que los sistemas complejos están influenciados por una combinación de factores y que la ocurrencia de ciertos eventos no es predecible con certeza, sino que se puede describir mediante probabilidades. Las causas son muchas pero, a nuestro juicio, influye fuertemente la combinación de flujos de energía, junto a la dinámica circular con las morfologías estructurales, lo que impide, justamente, tener certeza absoluta respecto a los resultados esperados, pero posibilita hacer estudios probabilísticos en función de la naturaleza de los sistemas bajo estudio.

Resulta necesario aclarar que en los sistemas físico-químicos es donde predomina esta forma estocástica de expresión, ya que en los

⁴⁰ Si bien en su momento la fragmentación disciplinaria ha sido útil para profundizar en áreas específicas, ha tenido el costo de limitar la comprensión global de los sistemas complejos, donde las interacciones entre fenómenos de diversas naturalezas (físicos, químicos, biológicos, sociales) son fundamentales.

⁴¹ En áreas como la estadística bayesiana o la teoría de sistemas dinámicos, ya existen modelos híbridos.

biológicos, los comportamientos se estructuran, en mayor medida, en función de comportamientos adaptativos y de supervivencia. En los diferentes sistemas biológicos hay una búsqueda combinada y tensional de supervivencia y bienestar, es decir, la búsqueda de circulación energética y la construcción de una morfología estructural -en red con su especie- que les permita una supervivencia y bienestar más duraderos. En otros términos, la estocasticidad se ve atenuada en estos sistemas, además de por dinámicas de conservación internas, por los intercambios energéticos con distintos sistemas de contacto, construyendo adaptabilidad, interconexión y evolución en donde las fluctuaciones no se conciben como perturbaciones, sino como insumos necesarios para una nueva ordenación.⁴²

Desde el SSC, surge la pregunta de si la tecnología y los tecnólogos han superado los condicionamientos de la ciencia clásica, dado que tienen un objeto de estudio, una intencionalidad específica y una metodología que es internamente compleja. La tecnología ha obligado a la ciencia a reconocer que los fenómenos no siempre siguen trayectorias simples y que los patrones y las regularidades son solo una parte de la ecuación en sistemas dinámicos y complejos. ¿No sería más fructífera la alternativa de una 'tecnociencia', entendida como una interfaz más adecuada para la construcción de mapas y algoritmos en lugar de centrarse en la búsqueda de leyes universales?

Esta tecnociencia reconocería que los tecnólogos no solo describen la realidad, sino que también intervienen activamente en ella, guiados por propósitos o intenciones específicas. La metodología es compleja por naturaleza, al integrar múltiples variables e incorporar la adaptabilidad de los modelos frente a nuevas circunstancias. En lugar de tratar de imponer reglas fijas, se enfocaría en la creación de mapas, algoritmos y simulaciones que capturen la

⁴² El Saber Supercomplejo cree que los conceptos de orden, equilibrio y homeostasis no son adecuados sino más bien reductivos para explicar la dinámica de los sistemas biológicos complejos. Desde el SSC se señala la necesidad de ir más allá de buscar estabilidad, orden y equilibrio.

riqueza de las interacciones y la contingencia de los sistemas complejos, proporcionando una comprensión más dinámica y práctica de la realidad.

Por último, un debate que no quisimos evitar es el de la relación del SSC con el estructuralismo y el funcionalismo. En tal sentido, el SSC no es ni estructuralista, ni funcionalista, sino una superación de ambos enfoques.

El estructuralismo se centra en las relaciones fijas y subyacentes entre las partes de un sistema, buscando descubrir la "estructura" que determina el funcionamiento de una totalidad. Esta visión tiende a congelar los sistemas, buscando patrones constantes y universales que, según el SSC, no son representativos de la verdadera dinámica de los sistemas complejos y enfatiza, en cambio, la fluidez y la transformación continua de las estructuras. En lugar de considerar que las relaciones entre las partes de un sistema son inmutables, el SSC plantea que las morfologías estructurales están en permanente cambio debido a los flujos de energía y las interacciones multi-escalares entre sistemas. Así, el SSC rechaza la idea de una estructura fija y propone que las estructuras emergen y evolucionan con el tiempo.

El funcionalismo, por su parte, se centra en las funciones que las partes de un sistema cumplen para mantener su estabilidad y cohesión y sigue enfocado en la idea de que los sistemas se organizan en torno a la conservación del equilibrio y la funcionalidad de las partes. El SSC supera el funcionalismo al integrar las nociones de estocasticidad, probabilismo y emergencia de funciones nuevas que no están orientadas únicamente a la estabilidad. Mientras el funcionalismo busca explicar cómo las partes de un sistema colaboran para mantener su coherencia, el SSC plantea que la inestabilidad, la fluctuación y el cambio emergente son fundamentales para la evolución de los sistemas. No todas las interacciones dentro de un sistema tienen una función clara o necesaria para su

equilibrio; algunas incluso conducen a su transformación radical o disolución.

El SSC propone que los sistemas no pueden entenderse plenamente ni desde una visión estructuralista ni desde una funcionalista, ya que ambas tienden a enfatizar la regularidad, la previsibilidad y la permanencia. En su lugar, el SSC introduce la idea de que los sistemas son procesos dinámicos, en los que la estructura y la función son resultados emergentes de interacciones energéticas y temporales. En lugar de estudiar solo las relaciones entre partes (como el estructuralismo) o las funciones que cumplen (como el funcionalismo), el SSC se centra en cómo los flujos de energía y la conectividad temporal generan cambios morfológicos. Es decir, la relación entre estructura y función es circular y estocástica. La estructura y la función se co-determinan y co-evolucionan. Los cambios en la estructura pueden llevar a nuevas funciones y las funciones emergentes pueden retroalimentar y modificar la estructura. Esta visión es compatible con la idea de que tanto la estructura como la función son configuraciones temporales emergentes en un flujo de energía y de información constante. Se trata de una visión mucho más dinámica que reconoce el papel crucial de las fluctuaciones no lineales en la transformación de los sistemas.

SEXTO PRINCIPIO: Las modelizaciones de los sistemas complejos son multidimensionales con el objetivo de la construcción de “mapas” y algoritmos de descripción, predicción e intervención.

El SSC estudia los sistemas en su multidimensionalidad a través de modelizaciones (reales o abstractas) matemáticas, informáticas y conceptuales (con posibilidades de ser analógicas en el caso del macrosistema biológico y sus sistemas derivados), adaptando las metodologías a las particularidades de cada macrosistema o sistema,

concluyendo con la elaboración de mapas que permitan el diseño de algoritmos de descripción, predicción e intervención.⁴³

Desde nuestra perspectiva, es posible estudiar los sistemas en su multidimensionalidad a través de modelizaciones matemáticas, informáticas y conceptuales. La diversidad de sistemas complejos, que hemos venido señalando implica la necesidad de adaptar las metodologías de abordaje a las particularidades de cada macrosistema, para obtener una comprensión acabada de cada modalidad de complejidad. Por ello, la utilización de distintas modelizaciones conforme al sistema a abordar, concluye en la elaboración de un mapa particular delimitado de manera discrecional y estratégica, conforme al objetivo de investigación, que permita estudiar los sistemas en interacción y, eventualmente, intervenir por medio de algoritmos.⁴⁴

Desde el abordaje matemático, los sistemas complejos pueden ser descritos por medio de ecuaciones o sistemas de ecuaciones que representan las relaciones entre las diferentes variables del sistema. Estos modelos matemáticos pueden ser lineales o no lineales, discretos o continuos, determinísticos o estocásticos (o una combinación de ambos), según las características del sistema que se quiere representar. La construcción de un modelo matemático implica la

⁴³ Por ejemplo, el macrosistema biológico requiere de técnicas de descripción e intervención diferentes a los demás macrosistemas. La continuidad y la autonomía de lo vivo necesitan particulares metodologías de acercamiento por parte del observador-desarrollador humano, en cuanto al desarrollo de estrategias y herramientas complejas como la construcción de descripciones amplias, de mapas y algoritmos. A modo de ejemplo, podemos mencionar el trabajo llevado a cabo desde 1960, por Janet Goodall, de una tribu de chimpancés que mostró la importancia de la observación en su hábitat cotidiano y concluye que los chimpancés poseen personalidades diferentes unos de otros, con relaciones bastante complejas de amistad, de rivalidad. Y así, toda una psicología y una sociología de los chimpancés aparecieron en su complejidad. En este estudio, la construcción de descripciones amplias y detalladas de las interacciones sociales y comportamientos de los chimpancés en su hábitat natural, fue fundamental. Los investigadores deben emplear técnicas de observación prolongada y detallada para recopilar datos sobre las relaciones sociales, las jerarquías grupales, las dinámicas de juego y otros comportamientos. Además, crear mapas que representen la estructura social de la comunidad de chimpancés y las modalidades de interacción entre individuos.

⁴⁴ Es cierto que hay que tener una actitud estratégica para no contaminar con criterio humano las descripciones, pero hay que ser conscientes que es imposible no hacerlo en las intervenciones.

representación de relaciones numéricas y cuantitativas entre variables, utilizando ecuaciones y expresiones del orden numérico.

En cambio, la construcción de un modelo lingüístico conceptual implica la representación de conceptos abstractos y relaciones entre ellos, utilizando lenguaje natural y/o simbología conceptual. Se trata de la creación de un modelo abstracto en el que se representan las partes del sistema y sus interacciones y relaciones y que puede incluir diagramas, esquemas, mapas conceptuales, redes de flujo y otros métodos visuales para representar las partes del sistema y sus interacciones. Este tipo de modelización es útil para visualizar sistemas y suele utilizarse en disciplinas como la biología, la psicología y la sociología. Son cruciales para lograr una comprensión cabal de los sistemas en su totalidad y facilitar las interacciones interdisciplinarias.

Por otro lado, las modelizaciones informáticas se basan en el uso de simulaciones computacionales para representar el sistema y sus interacciones. Este abordaje utiliza algoritmos y programas informáticos para simular el comportamiento del sistema en función de determinadas reglas definidas a priori. En términos generales, esta modelización se utiliza para estudiar sistemas complejos en tiempo real y realizar experimentos virtuales.⁴⁵

Por otra parte, es posible abordar las dimensiones de los sistemas complejos de manera analógica, metafórica o simbólica. En este sentido, la energía puede utilizarse como una metáfora o una representación simbólica para describir la dinámica y la fuerza

⁴⁵ Desde el SSC, sostenemos que el abordaje de los sistemas complejos no puede limitarse a una única metodología de descripción o medición. Reconocemos que los sistemas son interdependientes y presentan múltiples niveles de organización y emergencia, lo que requiere la integración de enfoques matemáticos, conceptuales e informáticos para capturar sus diversos aspectos. Estos métodos no sólo pueden coexistir, sino que deben aplicarse de manera estratégica, adaptándose a las particularidades de cada sistema y las necesidades descriptivas específicas en esta búsqueda de comprensión integral. La combinación de descripciones matemáticas con representaciones lingüísticas y conceptuales permite preservar la continuidad energética y su relación con las dimensiones del espacio y el tiempo, ofreciendo así una perspectiva más completa y profunda.

impulsora detrás de los sistemas complejos. Esta energía podría referirse a información o fuerzas subyacentes o influencias que guían el comportamiento y las transformaciones en el sistema. Por su parte, el espacio y el tiempo también pueden utilizarse como metáforas o representaciones simbólicas para describir aspectos de los sistemas complejos. El espacio simbólico podría referirse a dimensiones conceptuales o campos de acción, mientras que, el tiempo simbólico, a la evolución o el cambio en un sentido más abstracto.

Es necesario tener presente que existen distintos niveles de estudio: descriptivo, predictivo y de intervención. Las metodologías descriptivas se centran en la descripción y el análisis de un sistema sin interferir en él; aquí, los mapas (MDS) y algoritmos se utilizan para comprender mejor un problema o situación e identificar tendencias. El objetivo de las herramientas de predicción es anticipar futuros estados o comportamientos de un sistema complejo. Por su parte, las metodologías de intervención tienen como objetivo resolver problemas o modificar situaciones específicas. Aquí se observa una acción directa destinada a cambiar el curso de un proceso o fenómeno.

Por su parte, para lograr estrategias de descripción, predicción e intervención, es necesario la construcción de mapas y algoritmos estratégicos que se ajusten a las necesidades del investigador.⁴⁶

⁴⁶ El simple acto de lanzar una moneda expone la interconexión de múltiples sistemas y desmonta la ilusión de que un fenómeno pueda explicarse mediante constantes fijas. Lo que parece un gesto mecánico es, en realidad, el resultado de la interacción simultánea entre el sistema biológico del lanzador-con variables como su coordinación neuromotora, experiencia previa y estado físico y emocional, entre otras- y el sistema atmosférico, donde variables como la velocidad y dirección del viento, la presión y la temperatura del aire, entre otras, modelan sutilmente la trayectoria del objeto en cada instante. La caída de la moneda no es solo un efecto de la gravedad terrestre, sino también de la textura, inclinación y elasticidad de la superficie de impacto, del coeficiente de fricción y hasta de la posibilidad de rebotes o deslizamientos, entre otros. A su vez, el sistema tecnológico representado por la propia moneda introduce nuevas fluctuaciones: su masa, centro de gravedad, aerodinámica y composición material configuran respuestas dinámicas que desafían cualquier intento de predicción determinista. Y en una escala aún mayor, el sistema planetario añade influencias que, aunque imperceptibles en el día a día, siguen estando presentes: desde la rotación de la Tierra hasta interacciones electromagnéticas o gravitacionales sutiles, entre otras.

MAPAS

Entendemos por mapas dinámicos de supercomplejidad a las representaciones visuales destinadas a exponer las interconexiones y relaciones inherentes a los elementos que conforman los sistemas complejos. Estos mapas pueden variar en su complejidad, desde formas simples hasta presentaciones más detalladas, dependiendo de la complejidad del sistema que se busca analizar. En tales mapas, cada componente se simboliza como un nodo o punto, mientras que, las relaciones entre estos elementos se exponen mediante líneas o flechas. Estas conexiones pueden manifestarse de diversas maneras, abarcando desde relaciones lineales y de influencia hasta interdependencias y retroalimentación. Asimismo, los mapas de variables o diagramas pueden ser cualitativos, cuantitativos o una combinación de ambos, dependiendo de su propósito y de la información que se desea representar.⁴⁷

La idea de mapas dinámicos implica una permanente actualización de cómo vemos la realidad, un enfoque en las relaciones y no en las entidades aisladas. Los "mapas" son herramientas estratégicas diseñadas para abordar la complejidad de los sistemas sin pretender abarcar la totalidad de sus componentes. El SSC postula que, debido a la naturaleza multifacética y estocástica de los sistemas complejos, no es posible ni práctico ver ni abordar todos los sistemas ni todas las variables que los afectan simultáneamente. Por lo tanto,

Atrapada en esta red de interdependencias, la moneda nunca sigue un camino idéntico, desmintiendo la idea de reproducibilidad absoluta en condiciones aparentemente similares. La ciencia clásica, con su afán de fijar leyes universales, se ve incapacitada para dar cuenta de esta multiplicidad de factores y sus efectos combinatorios. El SSC, en cambio, permite la construcción de "mapas" para describir el fenómeno en su totalidad, no solo identificando variables aisladas, sino modelando su interacción espacial y la evolución temporal. Con la ayuda de sensores avanzados y algoritmos de inteligencia artificial, es posible capturar y representar la dinámica real de estos sistemas, trascendiendo la visión fragmentaria del pensamiento tradicional y comprendiendo la complejidad como un tejido vivo de conexiones en constante transformación.

⁴⁷ Un mapa cualitativo se enfoca en mostrar las relaciones entre las variables y sus formas de interacción, sin detallar valores numéricos específicos. Esta metodología es útil para visualizar el flujo de información sin entrar en detalles numéricos. Por otro lado, un mapa cuantitativo podría incluir valores numéricos específicos para las variables y sus relaciones, lo que proporciona una representación más precisa de datos o cálculos específicos.

los mapas en el SSC son producto de un recorte estratégico, donde se seleccionan ciertos elementos claves basados en tres criterios principales:

1. **Priorizar las variables explicativas:** Se eligen aquellas variables que mejor expliquen la evolución y el comportamiento del sistema complejo a lo largo del tiempo. Este enfoque permite comprender cómo los sistemas se transforman, interactúan y se adaptan, generando comportamientos emergentes.
2. **Focalizar en variables de intervención:** Los mapas deben identificar las variables sobre las que se pueda intervenir para potenciar el sistema. Estas variables representan puntos donde se pueden aplicar modificaciones que impacten positivamente en la evolución del sistema, optimizando su funcionamiento o adaptabilidad.
3. **Ajustarse a los instrumentos y metodología:** Los mapas deben considerar las variables para las cuales el observador-desarrollador (humano) cuente con las herramientas metodológicas y tecnológicas necesarias para describir, modelar e intervenir en el sistema. Esto asegura que el conocimiento generado sea efectivo y aplicable, evitando variables sobre las cuales no exista suficiente capacidad técnica para intervenir de manera precisa.

El SSC, con estos mapas, propone una visión práctica y flexible del análisis de los sistemas complejos. En lugar de buscar una explicación total, que podría ser inalcanzable, se priorizan las variables que tienen mayor impacto en la descripción, predicción y modificación del sistema. Los mapas son, entonces, una representación estratégica que guía la intervención en los sistemas complejos, haciendo énfasis en lo que se puede observar, modelar y manipular dentro de los límites y capacidades del observador.⁴⁸

⁴⁸ Los tecnólogos, especialmente en áreas como la inteligencia artificial, el análisis de datos, la biomedicina y la ecología, utilizan estos "mapas" de interacción o redes para comprender mejor sus sistemas de estudio y desarrollar intervenciones más precisas. Por ejemplo, en inteligencia

ALGORITMOS

Por otra parte, un algoritmo es un conjunto de instrucciones detalladas que un dispositivo puede seguir para resolver un problema específico. Los algoritmos son fundamentales al permitir el procesamiento de grandes conjuntos de datos y la generación de visualizaciones y modelos explicativos de estos sistemas. Además, permiten la representación y el análisis de sistemas complejos y proporcionan información valiosa sobre su comportamiento dinámico. Los algoritmos proporcionan las herramientas computacionales o lógicas necesarias para analizar, procesar o modelar la información contenida en los mapas. Esta relación permite extraer propiedades y comportamientos del sistema complejo descrito en el mapa, lo que, a su vez, facilita una mayor comprensión y predicción de su dinámica.⁴⁹

En el intrasistema, los mapas y algoritmos pueden identificar y analizar dinámicas internas complejas, como la autoorganización o la resistencia energética, ofreciendo insights sobre cómo mejorar la eficiencia y adaptabilidad del sistema. En el entre/intersistema, los descriptores pueden ser utilizados para entender cómo diferentes sistemas interactúan y se influyen entre sí. Los mapas pueden ilustrar estas interacciones, mientras que los algoritmos pueden predecir cómo los cambios en un sistema podrían afectar a otros. Los descriptores permiten analizar cómo estas interacciones afectan la dinámica general del sistema y los algoritmos pueden sugerir maneras de optimizar estas relaciones para el beneficio del sistema. Al abarcar los tres niveles de análisis, se pueden captar tanto las propiedades internas del sistema como su relación con el exterior, lo

artificial y aprendizaje profundo, los modelos de redes neuronales son, en esencia, mapas dinámicos de relaciones y dependencias que representan las conexiones entre múltiples variables (nodos) y cómo estas se retroalimentan y evolucionan.

⁴⁹ La elaboración de mapas utilizando descriptores del SSC, permite visualizar cómo los flujos de energía, las morfologías estructurales y la conectividad temporal interactúan dentro de un sistema o en el entre/inter sistemas.

cual es esencial para una comprensión adecuada de los sistemas complejos y su comportamiento.

INSTRUMENTOS DE OBSERVACIÓN

En otro orden de ideas, desde el SSC se promueve la utilización de los nuevos saberes y tecnologías y, en consecuencia, mejores instrumentos de observación, detección y medición en el marco de la construcción de una nueva forma de entender la complejidad.

Existen tres generaciones de instrumentos de observación para la medición y análisis de variables intervinientes en sistemas. En la primera generación, cada instrumento mide exclusivamente una sola variable, proporcionando datos aislados. La segunda generación avanza al medir grupos de variables de manera simultánea, permitiendo una comprensión más rica de los sistemas pero aún limitada en su análisis de interacciones. La tercera generación, en cambio, se enfoca en medir la interacción simultánea entre múltiples variables, capturando la dinámica interdependiente de sistemas complejos.

Para el SSC, estos instrumentos de tercera generación son los más adecuados para el análisis de sistemas complejos, ya que permiten comprender cómo las variables se influyen mutuamente en un sistema interconectado. Este enfoque permite captar con mayor precisión la esencia de los sistemas complejos y supercomplejos, que se caracterizan por sus interacciones y la generación de comportamientos emergentes.

CIENCIAS Y DISCIPLINAS IMPLICADAS

El SSC destaca la necesidad de apelar a las neurociencias, la Inteligencia Artificial, la Big Data y el Deep Learning, entre otras herramientas fundamentales, para desarrollar y enriquecer el SSC en su abordaje de la diversidad de espacios y tiempos en sistemas

complejos.⁵⁰ Este paradigma podría no solo ampliar nuestra comprensión teórica, sino también mejorar las intervenciones prácticas en una variedad de campos. Cada uno de estos campos puede aportar herramientas y perspectivas únicas que facilitan la exploración y comprensión de la supercomplejidad.

En esta línea, la utilización de las neurociencias como paradigma para abordar el fenómeno complejo, permitirá una comprensión, con mayor profundidad, de cómo los seres humanos perciben, procesan y actúan. Por su parte, la IA tiene la capacidad de modelar y simular aspectos del universo supercomplejo que exceden el entendimiento directo del cerebro humano y se ha constituido como una herramienta indispensable a la hora de desglosar y analizar una ingente cantidad de datos físicos, químicos, astronómicos y biológicos. Por medio de su capacidad de procesar información a una velocidad inimaginable años atrás, está en condiciones de identificar comportamientos y hacer correlaciones que, de otro modo, permanecerían ocultos. Estos avances tecnológicos brindan herramientas a los investigadores para explorar escenarios e interacciones complejas, ofreciendo una comprensión más acabada de procesos en los distintos niveles de análisis, difícilmente observables directamente. Estrictamente vinculado con la IA, el Deep learning puede ser utilizado para vislumbrar nuevas relaciones entre datos y, en consecuencia, alterar la comprensión actual del universo y la vida. La identificación de comportamientos complejos en un gran conjunto de datos, permite la exploración de nuevas teorías que no

⁵⁰ En nuestro equipo de desarrolladores, nos hemos preguntado si los sistemas de observación humanos no aprenderían más de la IA si esta asociara la intervención de numerosísimas variables intervinientes a sistemas de base. Somos conscientes que existen metodologías que apuntan a viabilizar esta posibilidad. El análisis de clústeres es una técnica utilizada por algoritmos de IA para agrupar variables o datos en conjuntos que son más similares entre sí que a los de otros grupos (K-means, Hierarchical Clustering, DBSCAN). En igual sentido, las redes neuronales profundas y los modelos basados en grafos pueden identificar comportamientos complejos y relaciones no lineales entre variables. Por último, existen enfoques y líneas de investigación en el campo de la IA explicable (Explainable AI o XAI) que tienen algunos puntos en común con esta idea.

eran concebidas con antelación, a raíz de la incapacidad humana de ver las correlaciones a gran escala. Por su parte, la big data permite una comprensión y análisis mucho más detallado del universo, a punto tal, que la propia comprensión de los fenómenos complejos se esclarece con la colaboración de esta herramienta. Al recopilar y analizar extensos conjuntos de datos sobre cualquier fenómeno complejo -como, por ejemplo, cambio climático o migración de especies- logramos una percepción más acabada y sustancial de estos procesos. Esta comprensión ampliada altera y enriquece nuestra percepción del universo, influenciando también nuestra percepción general de la realidad.

DESARROLLADORES

Teniendo en cuenta diferentes enfoques y habilidades requeridas para manejar la complejidad en el desarrollo de sistemas, hay tres niveles de desarrolladores de sistemas complejos. En un nivel uno de desarrolladores están los científicos. En un nivel dos los tecnoingenieros y en un tercer nivel, los filósofos.

Los científicos se enfocan en el aspecto más técnico y empírico del desarrollo de sistemas complejos. Su trabajo podría incluir la investigación y aplicación de principios científicos para entender y modelar los componentes y comportamientos de los sistemas.

Los tecnoingenieros aplican conocimientos de ingeniería y tecnología para diseñar, construir y mantener sistemas complejos. Este nivel se centra en la aplicación práctica de las teorías y modelos desarrollados por los científicos, para solucionar problemas reales y optimizar el funcionamiento de estos sistemas. Se incluyen, en este nivel, los analistas de sistemas, los desarrolladores de software y hardware y en inteligencia artificial, entre otros.

Mientras los enfoques científicos tradicionales abordan el análisis intrasistémico (lo que ocurre dentro de un sistema) o intersistémico (la interacción entre sistemas próximos), la mirada

filosófica se orienta a los desplazamientos causales distales. Se trata de captar cómo decisiones locales generan efectos en sistemas alejados, cómo ciertos ajustes actuales son resultado de trayectorias evolutivas remotas, y cómo las transformaciones más profundas operan en escalas temporales y espaciales que muchas veces quedan fuera del radar técnico.

CAPÍTULO CUATRO

LAS PROPUESTAS SUPERADORAS DESDE EL SABER SUPERCOMPLEJO

Desde el Saber Supercomplejo (SSC) buscamos superar viejos escollos irresueltos por las teorías precedentes. Con este propósito es que, como veremos a lo largo del libro, definimos con claridad el objeto de estudio -sistemas complejos- y sus componentes esenciales; distinguimos escalas, niveles y diferencias de complejidad para cada macrosistema; proponemos descriptores y conceptualizaciones falsables y refutables; describimos comportamientos desde la triada emergencia-resistencia-tensión, sin preferencia por ninguno de ellos; elaboramos modelizaciones matemáticas e informáticas desde la propia teoría; y, sobre todo, partimos de la base del constructivismo complejo multiescalar y de la multicausalidad probabilística.

He aquí la presencia de una propuesta integradora, detalladamente observadora y que ha recogido los aspectos más brillantes de las teorías en relación. De la Teoría General de Sistemas hemos tomado su abordaje en clave de sistemas interrelacionados; del Pensamiento Complejo su perspectiva filosófica y su énfasis en la interconexión e interdependencia; de las Ciencias de la Complejidad algunos de sus descriptores principales y el análisis matemático al abordar patrones emergentes⁵¹; de las Teorías que subrayan la

⁵¹ A las Ciencias de la Complejidad (CC) se le cuestiona la centralidad y exclusividad que le dan a los estados iniciales de un sistema y cómo esta situación puede llevar (efecto mariposa) a resultados drásticamente diferentes. El SSC critica este enfoque como indemostrable en muchos casos, ya que la formación de patrones no es una constante universal y, además, la complejidad estocástica que postula el SSC va más allá de la simple búsqueda de patrones. El SSC enfatiza que los patrones son sólo una ilusión momentánea en un entresistema dinámico donde las fluctuaciones y la estocasticidad juegan un papel central. Al centrarse en la búsqueda de patrones, las CC reducen la complejidad a algo más predecible y lineal, cuando en realidad la mayoría de los sistemas complejos no siguen esa pauta. Lo mismo resulta preocupante la preferencia de las CC por la morfología fractal. El SSC no se limita a la morfología fractal, sino que incorpora otras estructuras complejas, como las espirales, los toroides, los sistemas hexagonales,

Autoorganización y la Complejidad Evolutiva sus investigaciones respecto a la adaptación, evolución y organización interna de los sistemas; de la Teoría de Sistemas Complejos Adaptativos la aptitud de los sistemas de evolucionar y adaptarse estructuralmente a los desafíos y cambios provenientes del exterior; de la Teoría de Redes sus conceptualizaciones respecto a los nodos y sus relaciones, junto a la perspicacia de su abordaje al subrayar la importancia de ciertos nodos y conexiones. Naturalmente, sólo han sido mencionadas las miradas que estimamos más notables y a las cuales les debemos reconocimiento. Desde esta base, repetimos, proponemos que la comprensión de sistemas complejos debe pasar por desagregar los sistemas que interactúan y entender sus flujos de energía, morfologías estructurales y conectividad temporal; el solapamiento de macrosistemas (micropartículas, macroscópico y biológico) y el efecto de sus interacciones; la construcción de mapas descriptivos, predictivos y de intervención; el rechazo a la búsqueda de patrones y la necesidad de integrar las características de los sistemas complejos en mapas tetradimensionales y modelos dinámicos que pueden guiar la intervención en sistemas reales. En fin, el SSC continúa siendo un marco en evolución, abierto a la crítica y a la colaboración interdisciplinaria.

Para comenzar a desandar la propuesta, vale plantear los aspectos que estimamos más importantes del propio marco teórico. Entre los aportes más destacados se encuentra la tripartición de los componentes de los sistemas complejos, basada en los flujos de energía, la morfología estructural y la conectividad temporal, que permiten describir y modelar cualquier sistema desde una perspectiva supercompleja.

Para el SSC, los conceptos de energía, espacio y tiempo no son entidades estáticas, sino elementos en constante transformación.

entre otros. Estas estructuras -que en muchos casos se presentan combinadas- permiten modelar una mayor variedad de sistemas y explican la complejidad de manera más integral.

Esta dinámica se refleja en las emergencias que ocurren dentro de los flujos de energía, las morfologías estructurales y las conectividades temporales. Estas emergencias pueden iniciarse en cualquiera de estos componentes de forma aislada, en pares o incluso en los tres simultáneamente, generando nuevos estados o configuraciones en el sistema.

Otro aspecto clave es la clasificación de la realidad en macro-sistemas, que abarca tres niveles fundamentales de complejidad: el micropartículas, el macroscópico y el biológico. Estos niveles interactúan mediante un triple solapamiento bidireccional dinámico, dando lugar a un universo interconectado y en evolución.

Adicionalmente, se sostiene que la descripción de complejidad debe recoger miradas intra, inter y entresistemas, además de considerar la capacidad del cerebro para comprenderse a sí mismo y su relación con la realidad. Sin embargo, vale la aclaración, creemos que la complejidad no puede ser definida taxativamente ya que se trata de un concepto relacional y situacional. En definitiva, para el SSC la complejidad es el estado de un sistema que va desde la estabilidad temporal por tensión dinámica de sus flujos de energía, morfología estructural y conectividad temporal, pasando por fluctuaciones y reorganizaciones en sus componentes internos, hasta la emergencia máxima que consiste en transformarse (por fluctuaciones y reorganizaciones internas, acople, fractura y reconfiguración, fusión, bifurcación, subsunción, fagocitación, absorción recíproca, catalización interna, colapso creativo) en un nuevo sistema.

La Supercomplejidad, en cambio, se entiende como un constructo donde convergen el triple solapamiento bidireccional entre macro-sistemas (micropartículas, macroscópico y biológico) cada uno de ellos con descriptores específicos con las categorías de intervención del investigador y desarrollador humano imbricadas con las técnicas (tecnoingeniería instrumental) de observación y descripción.

A nivel metodológico, la modelización matemática y los pasos procedimentales para la intervención en sistemas permiten una comprensión más detallada y aplicable de la complejidad. Además, el desarrollo de software especializado facilita la modelación, mapeo y construcción de algoritmos para intervenir y modificar sistemas complejos de manera eficiente. Ambos aspectos como consecuencia de extrapolar las categorías teóricas a la praxis, logrando una teoría en clave circular con retroalimentación continua. El SSC, entonces, no se limita a describir o analizar la complejidad, sino que también propone métodos específicos de intervención, como la construcción de algoritmos dinámicos con supervisión permanente.

Finalmente, el SSC introduce el concepto de educomplejidad y superaprendizaje, donde la educación se reconfigura para abordar los desafíos del aprendizaje en un mundo supercomplejo, formando seres humanos más resilientes y preparados para interactuar con la complejidad.

En estos últimos años hemos tenido la posibilidad de dialogar con distintos actores que trabajan con las Teorías de la Complejidad y, sin excepciones, entendieron y alentaron nuestro esfuerzo por proponer un marco unificador a la vez que superador de los enfoques conservadores y tradicionales más representativos. Tanto en nuestra propuesta como en las devoluciones recibidas, se señalaron beneficios:

- Una mayor comprensión global del paradigma que tome lo mejor, lo más consensuado y las estrategias utilizadas en intervenciones exitosas dentro de las diversas perspectivas y enfoques dentro del campo de la complejidad. Esto permitiría una comprensión más integral de los sistemas complejos en la naturaleza, la sociedad y otros dominios.
- La sinergia estaría asegurada en el hecho de combinar circularmente diferentes herramientas metodológicas como la descripción, la modelización y el uso de algoritmos.

- Una invitación global a desarrollar taxonomías y mapas inclusivos de todos los sistemas complejos y de las diversas disciplinas involucradas. Esto permitiría abordar problemas más desafiantes de manera más efectiva y conducir a avances más significativos en la comprensión y la resolución de problemas complejos.
- Los acuerdos básicos podrían facilitar la aplicación de conceptos y principios de la complejidad en una variedad de campos, desde la biología y la física hasta la economía y la sociología. Esto tendría el potencial, al tener un lenguaje común y un marco teórico unificado, de impulsar innovaciones en diversas disciplinas y de generar transdisciplina entre los actores e instituciones vinculados a la complejidad.
- Esta propuesta de superación no busca desalentar la profusa actividad que se viene llevando a cabo en diferentes áreas del quehacer científico y tecnológico y mucho menos menoscabar la riqueza que tienen las Teorías de la Complejidad en cuanto a la diversidad de enfoques y corrientes participantes.
- Se podrían abordar desafíos globales y problemas más intrincados, lo que beneficiaría, tanto a la ciencia como a la sociedad en general.

Queremos, de hecho, construir una síntesis y una superación de diferentes enfoques dentro de las Teorías de la Complejidad, imbricando los conceptos más relevantes y dinámicos, junto con la incorporación y articulación de nuevos principios, aspirando a una perspectiva más amplia y enriquecedora para comprender sistemas complejos. Esta convergencia podría representar una evolución y una superación que integra lo mejor de diversos enfoques para abordar los desafíos de la complejidad.

Nuestra propuesta implicó, en una primera instancia, una revisión de los conceptos propuestos y la identificación de principios claves compartidos por las diferentes Teorías de la Complejidad,

promoviendo un modelo interdisciplinario que permita la colaboración y el diálogo, lo cual podría fomentar la integración de ideas y desarrollos complementarios. Otro de nuestros objetivos fue considerar una jerarquía de complejidad con diferentes niveles de organización, que incluyen los macrosistemas micropartículas, macroscópico y biológico, interactuando e influyéndose mutuamente. Por último, proporcionar un marco teórico flexible que pueda acomodar y abarcar diversos enfoques sin restringir la riqueza de las Teorías de la Complejidad. Esto permitiría que diferentes teorías y modelos coexistan bajo un marco conceptual general.

Somos conscientes que ya han habido intentos por lograr la unificación y la superación de las Teorías de la Complejidad. ¿En dónde radica, entonces, nuestra fortaleza, nuestra originalidad? En principio, hemos sido fieles constructores de saber y acciones, articulando y combinando con la mayor lógica y honestidad intelectual posibles, lo que ya tienen las teorías de valioso, con nuevos aportes enriquecedores.

Señalamos algunos aspectos que consideramos ponen en valor y en competencia al Saber Supercomplejo:

1. Se articula un saber filo-tecno-científico asociado con una posición cognitiva (constructivismo complejo multiescalar).⁵²
2. Se define un objeto de estudio que no es reductivo ni sobredimensionado.
3. Se señalan los componentes centrales de los sistemas complejos y su interrelación: flujos de energía, morfologías estructurales y conectividad temporal;

⁵² Un saber es algo que supera una ciencia o un pensamiento porque integra múltiples disciplinas y perspectivas, abordando problemas complejos de manera integral y transdisciplinaria. Incluye no solo el conocimiento teórico, sino también su aplicación práctica y una reflexión filosófica sobre su significado y consecuencias. Además, es dinámico y adaptable, capaz de evolucionar con nuevos descubrimientos y siempre considera las dimensiones éticas y los valores implicados en su aplicación. Por estas razones, el Saber Supercomplejo ofrece un marco más amplio y profundo que las Ciencias de la Complejidad o el Pensamiento Complejo, proporcionando una comprensión y una intervención más integradora y efectiva en la realidad supercompleja que enfrentamos.

4. Se postulan diferentes macrosistemas y sistemas, cada uno de ellos con un tipo de complejidad que le es propia.
5. Se propone una mirada de los tres macrosistemas en clave de solapamiento bidireccional dinámico.
6. Se concibe a la supercomplejidad como el resultado de la complejidad de los macrosistemas, su solapamiento y de la comprensión del propio cerebro humano y su intervención en la realidad. En otras palabras, la supercomplejidad incorpora nuevos niveles (a la complejidad) por la modificación activa y reconfiguración cognitiva y tecnológica por parte del observador-desarrollador lo que da lugar a la visualización -y eventual modificación- de nuevos eventos, nuevas combinaciones y nuevas circularidades en el universo, la vida y el cerebro humano.
7. El constructivismo complejo multiescalar es la base epistemológica y la multicausalidad probabilística es el punto de partida de una nueva concepción de la ciencia (descriptiva, prescriptiva y desarrolladora).
8. Se vincula interdisciplinariamente con las ciencias clásicas y con marcos teóricos muy diversos: neurociencias, ciencias de datos, teoría de campos, teoría de redes complejas, teoría rizomática, grounded theory, entre otras.
9. Se seleccionan descriptores novedosos de los sistemas complejos que permiten abordar fenómenos emergentes, resistentes y de tensión, tanto en el orden intrasistemas como en el intersistemas y entresistemas.
10. Se integran descripciones y modelizaciones matemáticas, informáticas y conceptuales.
11. Se teoriza el aprendizaje en sistemas biológicos desde tres descripciones fundamentales: cómputo, mapeo y cronometraje;
12. Se muestran posibles estrategias metodológicas para la aplicación del Saber Supercomplejo a problemas reales, a partir de la construcción de pasos procedimentales propios del marco teórico con

especial énfasis en la transformación y potenciación de instituciones y empresas.⁵³

13. Se construye un software para modelación, mapeo y construcción de algoritmos. Además, las modelizaciones de los sistemas complejos son multidimensionales con el objetivo de la construcción de “mapas” y algoritmos de descripción, predicción e intervención.

14. Se deriva en la necesidad de una educomplejidad y el super-aprendizaje;

15. Se concluye con una revolucionaria propuesta de construcción del conocimiento científico que posibilita compatibilizar la mecánica cuántica y la relatividad general y transformarse, eventualmente, en una teoría del todo.

El SSC anhela constituirse como un paradigma integrador y al mismo tiempo superador de las perspectivas tradicionales de la complejidad. En este afán paradigmático, levanta las banderas más importantes de la mecánica clásica, la mecánica cuántica, la mecánica de fluidos, la termodinámica, la relatividad, la teoría de redes, la teoría de sistemas, la teoría de la información, la teoría del juego, la teoría de la autoorganización, entre otras, echando mano a la tecnología para promover una nueva concepción de la ciencia. En este sentido, la ciencia clásica, en particular la física clásica, históricamente se ha centrado en el estudio de cambios espaciales más que en cambios energéticos. La física clásica se desarrolló principalmente para describir y comprender el movimiento de objetos en el espacio y el tiempo y las leyes fundamentales de la mecánica newtoniana, por ejemplo, se centran en el movimiento y las interacciones de los objetos en términos de posiciones, velocidades y aceleraciones. Sin embargo, con el tiempo, a medida que la comprensión científica ha evolucionado y se ha profundizado, se ha reconocido la importancia de considerar la energía como una

⁵³ En el capítulo diez hacemos una breve presentación del programa de transformación y potenciación a instituciones y empresas y al software que estamos desarrollando.

propiedad fundamental de la materia y el universo. Esto llevó al desarrollo de la termodinámica, la mecánica de fluidos y otras ramas de la física que se centran en los aspectos energéticos de los sistemas. La teoría de la relatividad de Einstein y la mecánica cuántica, que son pilares de la física moderna, también incorporan conceptos de energía en su marco teórico. Además, la termodinámica, que estudia los cambios energéticos en sistemas, se ha vuelto esencial en campos como la química y la ingeniería, así como en la comprensión de procesos naturales y tecnológicos.

Por otra parte, la evolución de la ciencia hacia nuevas formas de comprensión y abordaje se manifiesta en el entrelazamiento y la imbricación entre las disciplinas científicas. Las fronteras tradicionales entre campos de estudio, a menudo se vuelven imprecisas y permeables debido a la interconexión inherente del conocimiento. Esto, si bien puede generar desafíos en la definición de límites disciplinarios, también propicia colaboraciones fructíferas y descubrimientos innovadores.

La transdisciplinariedad es un concepto clave que emerge en este contexto. Enfatiza que ciertos problemas contemporáneos no pueden ser efectivamente resueltos desde una única disciplina, sino que requieren la colaboración e integración de conocimientos provenientes de múltiples campos. Esta perspectiva se alinea con la postura del SSC que destaca la interconexión de sistemas y la necesidad de marcos teóricos integrados para comprender fenómenos complejos. Un paradigma implica comprender un sistema en su totalidad, reconociendo la interdependencia y las relaciones entre sus componentes, lo cual contrasta con un análisis fragmentado y aislado de partes individuales.

Por último, queremos señalar que los conceptos tradicionales de "medio" o "entorno", las "condiciones iniciales" y fenómenos como el "efecto mariposa", así como la búsqueda de patrones, atractores y el uso del fractal como morfología central, son considerados por el

SSC como reduccionistas e insuficientes. El SSC rechaza la noción de un “entorno”, “medio” o “ambiente” externo que influye de manera aislada sobre los sistemas complejos. En su lugar, todo sistema es visto como parte de una red interconectada -imbricada y solapada, sin "vacíos"- donde no existe un medio externo independiente, sino una interrelación constante y dinámica entre los sistemas.

El SSC considera que la búsqueda de patrones y atractores fijos limita nuestra comprensión de la verdadera naturaleza de los sistemas complejos. En lugar de enfocarnos en patrones inmutables o deterministas, el SSC propone que los sistemas deben analizarse a través de mapas dinámicos, que permitan una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación. Este enfoque evita las restricciones de estructuras repetitivas y fomenta un análisis más innovador.⁵⁴

Asimismo, describir la complejidad en términos de "orden" o "desorden" resulta reductivo. Según el SSC, este binomio frena la acción transformadora: asociar el "desorden" con caos o fracaso genera aversión a explorar nuevas combinaciones, mientras que asociar el "orden" con éxito o estabilidad fomenta una obsesión por el control que puede sofocar tanto la adaptabilidad como la innovación. En lugar de perpetuar esta dicotomía, el SSC propone un enfoque integrador y combinatorio. Lo crucial no es controlar ni clasificar los sistemas, sino gestionar las relaciones y las transiciones dentro de ellos. En esta perspectiva, la complejidad se entiende como una red dinámica de interacciones, donde "orden" y "desorden" coexisten y se superponen.

Por otro lado, el uso del fractal como descriptor central en muchos sistemas complejos es considerado por el SSC como una

⁵⁴ Buena parte de las teorías de la complejidad, incluyendo la Teoría del Caos y ciertos enfoques de las redes complejas, han caído en un movimiento de autoengaño al intentar reducir la complejidad genuina a modelos determinísticos y controlables. Aunque se reconoce discursivamente la no-linealidad y la imprevisibilidad, persiste el deseo de dominación epistémica y técnica sobre los sistemas complejos, lo que contradice la naturaleza misma de la complejidad. El SSC propone superar esta trampa conceptual mediante una actitud combinatoria, relacional y abierta, que renuncia a la ilusión del control total.

herramienta útil pero insuficiente. Aunque los fractales pueden representar ciertas características de los sistemas, no abarcan la diversidad ni la riqueza de las posibles morfologías estructurales. El SSC amplía esta visión proponiendo una taxonomía más diversa que incluye hexágonos, toros, espirales y otras formas, ofreciendo una descripción más completa y realista de los sistemas complejos. Este enfoque evita la simplificación excesiva que podría limitar nuestra comprensión de fenómenos más ricos.

En resumen, el SSC expande y supera las limitaciones de metáforas y conceptos tradicionales, proponiendo un marco dinámico, interconectado y diverso para describir tanto la evolución como la estructura de los sistemas complejos.⁵⁵

EL SSC EN EL MAPA DE LAS TEORÍAS DE LA COMPLEJIDAD

Brian Castellani y Lasse Gerrits han creado un "Mapa de las Ciencias de la Complejidad" que proporciona una visión amplia e interdisciplinaria del campo. Este mapa abarca el desarrollo histórico, los pensadores clave y las conexiones entre diversos subcampos, como la ciencia de sistemas, el modelado computacional y la teoría de

⁵⁵ Además, el SSC tiene varios puntos de contacto con conceptos como las redes booleanas, los paisajes de fitness y los sistemas adaptativos complejos, ya que comparten enfoques sobre la interacción, la adaptabilidad y la emergencia en sistemas dinámicos. Las redes booleanas representan sistemas complejos donde los nodos tienen estados discretos (como encendido/apagado), lo que se alinea con el enfoque del SSC sobre nodos que poseen características energéticas, espaciales y temporales. En el SSC, la configuración y relevancia de los nodos (calientes, tibios, fríos) resuenan con la lógica binaria de las redes booleanas. El concepto de "paisajes de fitness" de Kauffman describe cómo un sistema busca optimizar su "estado" en un espacio multidimensional de posibles configuraciones. El SSC aborda esta idea desde la perspectiva de la combinatoria evolutiva y la interacción de variables energéticas, estructurales y temporales. En el SSC, la sobrevivencia y el bienestar de un sistema dependen de la calidad de las combinaciones de factores internos y externos, lo que se asemeja a cómo un sistema navega un paisaje de fitness buscando picos (óptimos locales o globales). Los sistemas adaptativos complejos, como los descritos por Holland, enfatizan la capacidad de los sistemas para aprender, adaptarse y evolucionar. El SSC retoma y en parte amplía esto, al destacar cómo los flujos de energía y las morfologías estructurales afectan estas dinámicas.

redes. Resalta la evolución de la ciencia de la complejidad y muestra cómo se entrelazan las distintas perspectivas teóricas.⁵⁶

El SSC se alinea con varias de estas áreas clave:

- Complejidad general y complejidad organizada.
- Teorías de redes y ciencias cognitivas.
- Complejidad integradora.
- Complejidad aplicada.
- Métodos interdisciplinarios.
- Jerarquía en sistemas complejos.

Esta posición enfatiza el compromiso del SSC de integrar teoría y práctica, situándose en la intersección de estas áreas en el mapa de Castellani y Gerrits. Así, el SSC no solo se presenta como un marco teórico emergente, sino como un paradigma unificador que incorpora y reorganiza los principios centrales de los enfoques preexistentes en el campo de la complejidad.

OBJETIVOS PARADIGMATICOS

Como se ha señalado, el SSC aspira a trascender la teoría y convertirse en una herramienta aplicable y unificadora, adaptando y desarrollando postulados que abordan la complejidad de manera integral y práctica. Esto permitiría superar los reduccionismos con pretensiones totalizadoras y dogmáticas y las “franquicias de sesgo”.⁵⁷

⁵⁶ Encontrar un autor o una corriente específica en el mapa es tan complicado que nos hace acordar a los libros infantiles “Buscando a Wally”. Pero eso son las Teorías de la Complejidad: más de cien enfoques desarticulados pugnando por llamar la atención de investigadores y desarrolladores.

⁵⁷ Para muchos científicos críticos, las Teorías de la Complejidad no son más que un montaje impresionista: aparentemente profundos pero, según ellos, carecen de contenido sólido y de impacto real para transformar las problemáticas existenciales humanas y planetarias. Nosotros consideramos que si estas teorías no se unifican, corren el riesgo de perder relevancia y desaparecer. Existen tres escenarios que nos preocupan particularmente:

La complejidad se vuelve ineficaz cuando se la trivializa o se la encasilla en marcos reduccionistas. La clave del SSC está en que no es solo un método ni una metodología, sino una revisión epistemológica profunda que redefine la relación entre los sistemas, sus interacciones y sus niveles de organización. Se malogra una mirada sobre la complejidad cuando se la considera únicamente una herramienta al servicio de disciplinas clásicas, perdiendo su valor ontológico y epistemológico, cuando no integra saberes ni objetos físicos, químicos o biológicos, fragmentando su alcance en lugar de sistemas articulares en interacción y cuando ignora que los enfoques monocausales pierden sentido con el avance de la IA y las supercomputadoras, tecnologías que permiten mapear y modelar sistemas de manera dinámica y multivariable. También se debilita si se la reduce a una categoría filosófica sin impacto práctico o a un simple gradiente matemático, perdiendo su potencia como paradigma transformador. La verdadera complejidad para el SSC debe mantenerse como un saber integrador, operativo y combinatorio, capaz de describir, predecir e intervenir en la realidad sin ser absorbido por enfoques fragmentarios.

-
- a) El personalismo de algunos creadores de enfoques, quienes han centrado su propuesta en una visión subjetiva de originalidad y creatividad, exigiendo una adhesión casi acrítica a su construcción, la cual consideran absoluta pese a su carácter parcial.
 - b) Las instituciones que integran cualquier marco teórico que utilice algunos conceptos clave de la complejidad, sin discriminar entre aquellos realmente integradores y los que diluyen el sentido teórico de la disciplina.
 - c) La asociación con otros modelos que, a largo plazo, limitan y debilitan la perspectiva sobre los sistemas complejos, como ocurre, por ejemplo, con la Teoría del Caos. Aunque esta teoría introdujo aportes significativos para el estudio de los sistemas no lineales y su sensibilidad a las condiciones iniciales, fue rápidamente reinterpretada por muchos científicos bajo una lógica de búsqueda de nuevos determinismos. Pareciera que encontrar el 'atractor extraño' fuera suficiente para domesticar la complejidad dentro de un modelo definitivo. En el fondo, una parte importante de la comunidad científica, aunque trabaja con discursos de complejidad, no está dispuesta a abandonar su posición tradicional de control sobre los fenómenos.

EL SABER SUPERCOMPLEJO EN COLABORACIÓN CON LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD Y EL PENSAMIENTO COMPLEJO.

El SSC comparte afinidades con el Pensamiento Complejo y las Ciencias de la Complejidad, pero también introduce innovaciones clave. Para visualizar tanto los puntos de convergencia como los elementos diferenciales de cada enfoque, presentamos el siguiente cuadro comparativo:

Aspecto	Ciencias de la Complejidad (CC)	Pensamiento Complejo (PC)	Saber Supercomplejo (SSC)
Objeto de Estudio	Sistemas dinámicos complejos en distintos niveles (biológico, social, físico).	El pensamiento complejo y la integración de saberes en distintas disciplinas.	Sistemas complejos y supercomplejos en interacción (micropartículas, macroscópico y biológico), con intervención del observador-desarrollador.
Enfoque Epistemo-lógico	Multidisciplinario, pero con una base en modelos matemáticos, teoría de redes	Enfoque holístico basado en la interconexión de sistemas, con énfasis en	Ontológico-relacional-combinatorio con enfoque en interacción, energía y

	y sistemas adaptativos.	el Pensamiento Complejo de Morin.	estructuras dinámicas.
Modelo de Modelización	Modelos matemáticos, simulaciones computacionales y redes complejas.	Modelización conceptual basada en interacciones e integración transdisciplinaria.	Mapeo tetradimensional basado en flujos de energía (FE), morfologías estructurales (ME) y conectividad temporal (CT).
Tratamiento de Variables	Priorización de variables clave, pero con dificultad en la integración de múltiples dimensiones.	Describe la complejidad a partir de múltiples dimensiones, pero sin modelización cuantitativa fuerte.	Integración dinámica de todas las variables relevantes, con un enfoque de combinatoria evolutiva.
Predicción y Control	Identificación de patrones estables y principios universales, con enfoque en	Busca comprender la emergencia y la evolución, sin control.	No busca patrones fijos, sino entender cómo las fluctuaciones y las no

	optimización y estabilidad.		constantes generan nuevas configuraciones.
Escalabilidad del Modelo	Funciona bien en escalas específicas, pero enfrenta problemas en la integración multiescala.	Escalabilidad conceptual, pero sin herramientas operativas para intervención en sistemas.	Escalable a cualquier sistema, ya que trabaja con estructuras emergentes y flexibles.
Rol del observador	El observador analiza desde fuera del sistema, sin intervención en su dinámica.	El observador es parte del sistema, pero con un rol más filosófico que práctico.	El observador es parte activa del sistema, modificándolo y siendo modificado en tiempo real.
Aplicabilidad en AI	Uso creciente de IA, pero con dependencia de modelos estadísticos tradicionales.	Aplicabilidad limitada, sin modelos formales de integración en IA avanzada.	Uso de IA combinatoria y redes 4D para optimizar intervenciones en tiempo real y mejorar la comprensión de sistemas.

Potencial Futuro	Expansión en ciencias de datos y simulaciones más avanzadas, pero sin integrar intervención activa del observador.	Podría influir en modelos de educación y epistemología, pero con impacto menor en la modelización práctica.	Máximo potencial para integrar inteligencia artificial, optimización de sistemas complejos y desarrollo de una teoría del todo.
Áreas de Transferencia y Problemáticas de Atención	Optimización de procesos industriales, análisis de redes sociales, modelización del cambio climático, economía computacional.	Ética del conocimiento, educación transdisciplinaria, cultura y arte, epistemología crítica.	AGI avanzada, neurociencias, biotecnología, educación, optimización empresarial e institucional, ciberseguridad, geopolítica, energía, salud personalizada, exploración espacial.

CAPÍTULO CINCO

UNA BREVE HISTORIA DE LA ENERGÍA, EL ESPACIO Y EL TIEMPO EN CLAVE DE SABER SUPERCOMPLEJO

La energía, el espacio y el tiempo no son conceptos aislados ni componentes pasivos del universo. Su emergencia simultánea como su evolución conjunta permiten trazar una línea desde las primeras fluctuaciones cuánticas hasta la aparición de la conciencia y las redes neuronales artificiales. En el marco del Saber Supercomplejo (SSC), estas tres dimensiones forman un tejido interdependiente cuya interacción dinámica es clave para entender la evolución del cosmos y la emergencia de la complejidad.⁵⁸

A lo largo de la historia, la comprensión de la energía, el espacio y el tiempo ha sido fundamental en la ciencia, la filosofía y la tecnología.⁵⁹ La teoría de la relatividad de Einstein demostró que el tiempo y el espacio no son absolutos, sino relativos a la dinámica de la energía en un sistema. Esta revelación cambió nuestra forma de entender el universo, mostrando que la energía, la masa y el espacio-tiempo están profundamente interrelacionados.⁶⁰

⁵⁸ A modo de precuela en la proyección científica que casi todos los modelos, con o sin intención hacen, nosotros creemos que la inflación masiva podría interpretarse como un evento resultado de interacciones multiversales, en el cual flujos de energía, configuraciones espaciales y dinámicas temporales se entrelazan de manera compleja y emergente. Este modelo, compatible con teorías como la inflación cósmica y el multiverso inflacionario, propone que el universo no es un sistema aislado, sino parte de un macrosistema mayor cuya evolución responde a procesos combinatorios y estocásticos. En este marco, la energía actúa como un flujo organizador, el espacio se comporta como un tejido flexible sujeto a tensiones interuniversales y el tiempo emerge como una red relacional que conecta dichos procesos. Esta visión, desde el SSC, ofrece una interpretación ampliada y relacional de los fenómenos cosmológicos actuales.

⁵⁹ David Bohm propuso la idea del "orden implicado", según la cual el universo no está compuesto por elementos separados, sino que es una totalidad dinámica donde el espacio, el tiempo y la energía emergen de una misma estructura profunda. Por su parte, Ilya Prigogine argumentó que la evolución del universo es irreduciblemente indeterminista y que las fluctuaciones cuánticas iniciales jugaron un papel crucial en la emergencia de estructuras complejas, lo que refuerza la visión del SSC sobre la interconectividad de energía, espacio y tiempo.

⁶⁰ Stephen Hawking explicó cómo la relatividad general transformó nuestra visión del espacio-tiempo al demostrar que su geometría es modificada por la presencia de energía y masa,

Posteriormente, los avances en la teoría de sistemas complejos ampliaron aún más estas ideas, al resaltar la importancia de las interacciones entre diferentes escalas y sistemas. En la física moderna, dos teorías esenciales para comprender el universo son la relatividad general y la mecánica cuántica. La relatividad general describe cómo la energía y la masa curvan el espacio-tiempo a nivel macroscópico, mientras que la mecánica cuántica gobierna las interacciones subatómicas a nivel microscópico. Aunque estas teorías operan en dominios separados, el SSC postula que la interrelación entre los flujos de energía en ambos niveles moldea las estructuras y dinámicas temporales de los sistemas.

El SSC se presenta como un paradigma integrador, ofreciendo una visión profundamente dinámica, estocástica y relacional del universo.⁶¹ En este marco, la energía, el espacio y el tiempo no son categorías separadas, sino que se interrelacionan siempre. La energía, al interactuar con las estructuras de los sistemas, no solo moldea el espacio y el tiempo, sino que genera cambios continuos en ellos. Esto implica que las estructuras de los sistemas están en constante transformación debido a los flujos de energía, lo que lleva a una evolución no determinista.

estableciendo una conexión fundamental entre estas dimensiones. Carlo Rovelli sostiene que el tiempo no es una entidad absoluta, sino que emerge de interacciones entre sistemas cuánticos, en sintonía con la visión del SSC sobre la multiplicidad de temporalidades.

⁶¹ El SSC se alinea con aquellas teorías que sostienen que el universo no emergió de la nada ni de una singularidad absoluta, sino de una inflación cósmica multiversal, resultado de interacciones energéticas entre sistemas preexistentes. Modelos como los de Alan Guth y Andrei Linde sobre la inflación eterna, así como las propuestas de Alexander Vilenkin y Max Tegmark sobre el multiverso, sugieren que nuestro universo es parte de una dinámica más amplia de fluctuaciones cuánticas. Del mismo modo, Roger Penrose y Neil Turok han propuesto modelos cíclicos donde la expansión y contracción del cosmos forman parte de un proceso recurrente. Lejos de ser un evento único e irrepetible, la inflación cósmica fue una transición de fase dentro de una combinatoria de flujos energéticos que reconfiguraron la morfología estructural y la conectividad temporal del espacio-tiempo. La expansión del universo no fue el comienzo, sino la continuidad de un proceso supercomplejo en el que el orden y el desorden coexisten y se recombinan constantemente, tal como sugieren los enfoques de Ilya Prigogine y Lee Smolin sobre la evolución de sistemas dinámicos y la emergencia del tiempo.

En términos más concretos, al igual que en la relatividad de Einstein, donde la energía puede curvar el espacio y alterar nuestra percepción del tiempo, el SSC plantea que estos tres elementos - energía, espacio y tiempo- son principalmente relacionales y correlacionales. Sin embargo, el SSC va un paso más allá al integrar estos conceptos dentro de una perspectiva de complejidad y supercomplejidad, en la que cada sistema complejo posee sus propios marcos temporales y espaciales, determinados tanto por su estructura interna como por sus interacciones con otros sistemas.

Un aspecto central de esta visión es que los sistemas complejos exhiben un comportamiento estocástico. Es decir, los eventos ocurren con aparente aleatoriedad pero son el producto del encuentro entre el autodespliegue (el desarrollo autónomo de un sistema) y las interacciones de un sistema complejo con otros sistemas. Esta visión permite comprender que lo que parece ser "aleatorio" en realidad está gobernado por un conjunto de relaciones y dinámicas subyacentes que pueden seguir comportamientos estocásticos. Este enfoque permite una representación más rica y matizada de la complejidad, alineándose con la idea de que la aparente aleatoriedad es, en realidad, una manifestación de complejas redes de interacciones.

El SSC, al enfocarse en la estocasticidad y en la interacción entre sistemas, sugiere que los eventos no siguen patrones fijos o predecibles ni tampoco comportamientos totalmente caóticos, sino que son el resultado de procesos evolutivos y de interacciones complejas, es decir, son productos de una dinámica mucho más abierta e interconectada.⁶²

⁶² En este sentido, el SSC comparte afinidades conceptuales con diversos enfoques en la ciencia y la filosofía. Prigogine y Kauffman destacan la evolución no determinista de los sistemas complejos, mientras que Morin enfatiza su interconexión recursiva. Barabási y Gell-Mann exploran la dinámica estocástica en redes y estructuras emergentes, en sintonía con la perspectiva del SSC. Bohm y Holland refuerzan la idea de que lo aparentemente aleatorio responde a patrones subyacentes, alineándose con la visión del SSC sobre la interrelación constante entre energía, espacio y tiempo.

El viaje del universo comenzó con pequeñas fluctuaciones en el vacío cuántico, desequilibrios que impulsaron la expansión del cosmos.⁶³ Para el SSC, esta energía primigenia ha sido el motor de la complejidad, desde las partículas subatómicas hasta los ecosistemas biológicos. Tradicionalmente, la energía se ha concebido como algo lineal y mecánico, que se conserva y transfiere. Sin embargo, el SSC entiende la energía como un flujo continuo, multiescalar y relacional, (con fluctuaciones y reorganizaciones internas, acoples, fracturas y reconfiguraciones, fusiones, bifurcaciones, subsumisiones, fagocitaciones, absorciones recíprocas, catalizaciones internas, colapsos creativos) que interactúa con las morfologías estructurales de los sistemas que atraviesa y modifica. No solo es el combustible de los sistemas complejos, sino también el agente de cambio que moldea su estructura interna y sus interacciones.⁶⁴

Para el SSC, a instancias de la interrelación con los flujos de energía, tanto el espacio como el tiempo son relativos, relacionales, correlacionales y son entendidos bajo tres características clave: a) son singulares; b) son relativos; y c) son múltiples e interdependientes ya que esta “danza” de sistemas generaría toda la diversidad del universo y de la vida.⁶⁵

⁶³ La hipótesis de que nuestro universo podría estar afectado por solapamientos con otros multiversos ha sido explorada por científicos como Laura Mersini-Houghton, Matthew Kleban y Salvador J. Robles-Pérez. Sus investigaciones sugieren que ciertos fenómenos cosmológicos, como el punto frío en el fondo cósmico de microondas, podrían ser consecuencia de interacciones entre universos. El SSC, al considerar la combinatoria de flujos energéticos entre sistemas interrelacionados, encuentra en estas hipótesis un correlato epistemológico que fortalece la perspectiva multiversal como una red de interacciones supercomplejas.

⁶⁴ Guth explica cómo los desequilibrios cuánticos iniciales impulsaron la expansión cósmica, en sintonía con la idea del SSC sobre la energía primigenia como motor de la complejidad. Chaisson sostiene que los gradientes energéticos impulsan la evolución desde las partículas subatómicas hasta los ecosistemas, alineándose con la visión del SSC sobre la energía como flujo estructurador. Gell-Mann, por su parte, describe cómo patrones emergentes y procesos adaptativos dependen de fluctuaciones energéticas, reforzando la perspectiva del SSC sobre interacciones multiescales.

⁶⁵ Carlo Rovelli sostiene que el tiempo no es una entidad absoluta, sino una construcción emergente que depende de las interacciones entre los sistemas. Su concepto de tiempo relacional plantea que no hay un flujo temporal universal, sino múltiples temporalidades que varían según la

1. **Singularidad:** Cada sistema complejo posee un marco temporal y espacial único, determinado por su morfología estructural y por su dinámica interna, es decir, su identidad en cuanto a su combinación y administración energéticas.
2. **Relatividad:** El espacio y el tiempo no son entidades fijas, sino que son influenciados circularmente por las interacciones energéticas entre los sistemas, generando variaciones en función de estas interacciones.
3. **Multiplicidad e interdependencia:** La interacción entre los sistemas genera una red de espacios y tiempos interrelacionados, que se superponen y coexisten, dando lugar a la diversidad del universo y la vida.

Desde esta perspectiva, el espacio es singular, relativo y múltiple ya que cada sistema complejo tiene su propio espacio conformado por su morfología estructural, pero además habría diferentes espacios que surgen de la interacción entre distintos sistemas complejos.⁶⁶

El tiempo también es relativo y propio de cada sistema y, por otra parte, está supeditado al contacto entre sistemas y a la evolución de los mismos. Esta mirada sugiere que cada sistema crea y define su propio marco espacial y temporal a través de sus estructuras internas y sus interacciones con otros sistemas.⁶⁷ En lugar de un espacio único y uniforme, existen múltiples espacios generados por las características estructurales de cada sistema complejo y por la que surge de una interacción activa con otros sistemas. Esto significa que la manera en que un sistema se expande, interactúa o incluso existe

estructura y dinámica de cada sistema, en sintonía con la visión del SSC sobre la singularidad y relatividad del tiempo.

⁶⁶ Este paradigma contrasta con la noción tradicional del "vacío" en la física, que a menudo se ha considerado como un espacio sin materia. Sin embargo, en teorías modernas como la mecánica cuántica y la teoría de campos, el "vacío" no está realmente vacío, sino lleno de fluctuaciones cuánticas y campos que existen en un estado fundamental.

⁶⁷ Minkowski formuló la noción del espacio-tiempo como una entidad unificada, donde las dimensiones espaciales y temporales están interconectadas y dependen de la dinámica de los sistemas. Lefebvre argumenta que el espacio no es un contenedor pasivo, sino un producto activo de interacciones físicas y sociales, lo que refuerza la visión del SSC sobre la generación de espacios múltiples a partir de las interacciones sistémicas.

depende intrínsecamente de su forma estructural y configuración, diferenciándose significativamente de otros sistemas; del resultado del contacto con esos otros sistemas y de la presencia de un tercero que realiza esa descripción.⁶⁸ De manera más simple, lo que afirmamos es que hay interacciones que amplían las morfologías estructurales y otras que las constriñen (espacio). Asimismo, hay interacciones que aceleran procesos y otras que los ralentizan (tiempo).

La concepción del tiempo en el SSC tiene una fuerte interrelación con el flujo dinámico, estocástico y circular entre los sistemas, lo que lleva a una conectividad temporal específica para cada sistema complejo. Esto implica un tiempo que no es homogéneo, sino que varía en función de las interacciones y las morfologías estructurales, alineado más con una noción de temporalidad interna a los sistemas.

Habría, en consonancia con la teoría de sistemas, la teoría de redes o la cibernética, tres dimensiones espaciales: primero, el espacio de la morfología estructural del sistema; segundo, un espacio dinámico generado por la interacción activa y en red con otros sistemas de contacto; y tercero, un espacio perceptual determinado por los parámetros relativos del observador-desarrollador humano.⁶⁹

⁶⁸ A modo de ejemplo, los ritmos circadianos en los organismos se ajustan según la luz del día, la temperatura y otros factores, demostrando que el "tiempo biológico" varía y se adapta según las condiciones internas del sistema y de las devenidas de los sistemas con los que interactúa. Por otro lado, y en igual sentido, estudios sobre cómo las comunidades se forman y operan en plataformas de redes sociales, ilustran cómo el "espacio social" de una comunidad es moldeado por las interacciones entre sus miembros, así como por las normas y tecnologías que median esas interacciones. Esto también podría observarse en situaciones como las redes neuronales, donde el tiempo de procesamiento de información y la configuración espacial de las conexiones neuronales dependen de la red de contactos y su actividad.

⁶⁹ El tercer espacio y tiempo reconocen la influencia inevitable que el observador tiene sobre el sistema que está estudiando. Desde la perspectiva de la física cuántica, se sabe que el acto de observar puede alterar el estado de lo observado. En el contexto de sistemas complejos, la percepción, las expectativas y las herramientas conceptuales del observador pueden definir cómo se perciben y se miden los espacios y tiempos del sistema. Reconocer un tercer espacio y tiempo, invita a reflexionar sobre las metodologías de investigación y las prácticas científicas. Promueve un enfoque más reflexivo y crítico sobre cómo se realiza la ciencia, especialmente en el estudio de sistemas complejos donde la interacción entre el observador y el sistema puede ser un factor crucial. En este sentido, Norbert Wiener sostiene que los sistemas no solo interactúan con su

1. **Espacio estructural:** Es el espacio que surge de la morfología interna de un sistema. Este espacio está definido por la disposición y estructura de las partes del sistema.
2. **Espacio dinámico:** Es el espacio que surge de la interacción entre sistemas complejos. Aquí, el flujo de energía y las interrelaciones generan nuevos espacios dinámicos que evolucionan en el tiempo.
3. **Espacio perceptual:** Este espacio es influenciado por el observador-desarrollador humano. La percepción del espacio está mediada por la capacidad cognitiva y las herramientas de observación disponibles, lo que introduce una dimensión subjetiva en la descripción de los sistemas.

Esta trifurcación nos permite abordar tanto la objetividad estructural como la subjetividad perceptual en nuestro análisis, ofreciendo una comprensión más profunda de cómo los sistemas operan y evolucionan.

En esta visión, el espacio y el tiempo no son conceptos homogéneos. Cada sistema crea y define su propio marco espacial y temporal mediante sus estructuras internas y sus interacciones con otros sistemas. En lugar de un espacio y tiempo universales, existen múltiples espacios y tiempos definidos por la singularidad de cada sistema complejo y sus relaciones con otros sistemas. Es decir, el concepto de tiempo, al igual que el espacio, no es un absoluto sino que varía en función de la naturaleza específica de cada sistema y sus interacciones dinámicas.⁷⁰ Esto implica que la conectividad temporal, es decir, el "ritmo" o la "velocidad" de los procesos puede diferir significativamente entre sistemas, dependiendo de cómo y con quién

entorno, sino que también son influenciados por el observador que los describe y regula. Su enfoque cibernético refuerza la visión del SSC sobre el espacio perceptual como una construcción determinada por los parámetros del observador-desarrollador humano.

⁷⁰ Esto puede influir, por ejemplo, en cómo abordamos la conservación de ecosistemas, el diseño de tratamientos médicos personalizados basados en la biología de sistemas y la ingeniería genética, donde los sistemas de contacto y la variabilidad individual son cruciales.

interactúan.⁷¹ Por ello, la temporalidad es un fenómeno emergente y dinámico, similar a cómo se conceptualiza en algunas interpretaciones de la mecánica cuántica y en estudios de sistemas complejos adaptativos.⁷²

Para el SSC, como ya lo hemos sostenido, en los sistemas complejos existe una coexistencia dinámica entre funciones estabilizadoras, coemergencias sincrónicas y fluctuaciones asimétricas secuenciales. Las funciones estabilizadoras aseguran la organización funcional del sistema al sincronizar los flujos de energía y optimizar su estructura en el presente. A su vez, las convergencias sincrónicas organizan componentes y funciones en interacción simultánea, logrando configuraciones morfológicas cohesionadas y estables. Por otro lado, las fluctuaciones asimétricas secuenciales introducen desequilibrios progresivos, reorganizando las morfologías estructurales y reconfigurando las conectividades temporales, lo que da lugar a innovaciones y adaptaciones evolutivas. Es a través de esta combinatoria dinámica, en la que los flujos energéticos son gestionados de manera eficiente, las estructuras se reorganizan constantemente y las temporalidades se entrelazan, donde se

⁷¹ Esta idea es superadora de la noción newtoniana de espacio y tiempo como absolutos y universales. Pero, además, como cada sistema no sólo opera en su propio marco, sino que también co-crea nuevos marcos a través de sus interacciones, se podría estar en paralelo a conceptos en física como la teoría de la relatividad general de Einstein, donde la gravedad es vista como curvatura del espacio-tiempo causada por masas. Prigogine trabajó en termodinámica lejos del equilibrio, donde destacó la importancia de los sistemas abiertos y cómo estos pueden mostrar un comportamiento temporal complejo.

⁷² ¿Esta concepción no entraría en colisión con las llamadas constantes que propone la ciencia clásica? Algunas objeciones a considerar: a) Las constantes son provisorias ya que si bien son consideradas universales, podrían variar bajo condiciones extremas, en escalas no comunes o ante sistemas que aún no han sido estudiados en profundidad (como pueden ser agujeros negros o en escalas cuánticas extremas); b) ciertas constantes podrían ser, en algún sentido, resultado de condiciones específicas, como en la mecánica cuántica donde la observación afecta el estado del sistema observado; c) hay constantes que se proponen para determinados macrosistemas pero no se sabe si en otros macrosistemas conservarán el parámetro matemático correspondiente a la relación causal original.

equilibran la estabilidad funcional y el cambio adaptativo, asegurando así la evolución y la supervivencia del sistema.⁷³

Por todo esto, la pluralidad y diversidad de los sistemas que nos rodean se cimienta en cómo los flujos energéticos, al interactuar con las diferentes morfologías estructurales en el tiempo, se entrelazan, superponen e influyen mutuamente generando una increíble diversidad de sistemas con particularidades y procesos internos propios, que operan de manera interrelacionada aumentando el grado de complejidad en el mundo y en la vida y, en consecuencia, en las herramientas necesarias para abordar adecuadamente el fenómeno complejo. Bajo esta perspectiva, la aparente inmovilidad o linealidad de ciertos sistemas y la pretensión de trabajar sobre ellos de manera independiente cede ante la realidad de los efectos de la interrelación entre los mismos.

Desde la estructura cuántica hasta las redes neuronales artificiales, la complejidad se amplifica a medida que estos tres elementos interactúan de manera cada vez más intrincada. En la biología, por ejemplo, el flujo energético del metabolismo está íntimamente ligado a la estructura espacial de los organismos y a la conectividad temporal que permite la evolución y la adaptación. En la tecnología, las redes neuronales artificiales imitan, de manera simbólica, estos principios al gestionar grandes cantidades de datos y aprender a medida que se retroalimentan de nuevas entradas.

Un hito fundamental en la historia de la complejidad es la aparición de la conciencia, entendida en clave supercompleja como la manifestación más alta de la interconexión entre energía, espacio y tiempo. La conciencia no es solo una propiedad emergente de sistemas biológicos complejos, sino también un catalizador que

⁷³ Maturana y Varela desarrollan el concepto de autopoiesis, que describe cómo los sistemas vivos mantienen su identidad mediante procesos de autoorganización y estabilidad funcional, alineándose con la visión del SSC sobre funciones estabilizadoras y sincronización energética. Eigen, por su parte, introduce la teoría de los hiperciclos, donde la evolución depende de redes de interacciones que sincronizan funciones y reorganizan estructuras, en sintonía con la visión del SSC sobre coemergencias sincrónicas y fluctuaciones adaptativas.

permite a los sistemas transformar su propia estructura y las de los sistemas de intercambio.⁷⁴

El rechazo total al determinismo en el SSC lo posiciona como un paradigma único y radicalmente diferente. Esta visión pone el acento en la indeterminación, la creatividad y la emergencia como principios fundamentales para describir, modelar y modificar sistemas complejos.

⁷⁴ Damasio argumenta que la conciencia surge de la interacción entre estructuras biológicas y flujos energéticos, en sintonía con la visión del SSC sobre su naturaleza emergente. Koch desarrolla la teoría de la información integrada (IIT), según la cual la conciencia es un grado de interconexión en un sistema, alineándose con la idea del SSC sobre la interdependencia entre energía, espacio y tiempo. Chalmers diferencia la conciencia como fenómeno físico del problema difícil de la subjetividad, lo que refuerza la perspectiva del SSC sobre la conciencia como manifestación avanzada de la complejidad. Penrose sugiere que la conciencia puede estar vinculada a procesos cuánticos fundamentales, lo que complementa la visión del SSC sobre su papel en la transformación estructural de los sistemas. Varela, Thompson y Rosch proponen que la conciencia es un fenómeno dinámico y situado, emergente de la interacción entre organismos y su entorno, en sintonía con la visión del SSC sobre su capacidad para modificar los sistemas de intercambio.

CAPÍTULO SEIS

LOS MACROSISTEMAS

En el capítulo anterior, afirmamos que el Saber Supercomplejo (SSC) se aboca a una dinámica universal donde los flujos de energía interactúan de manera continua y variable entre sí, con las diferentes morfologías estructurales y con el tiempo, a partir de la conectividad temporal (encendido y apagado de comportamientos y funciones). Esto genera la construcción de una amplia gama de sistemas con diferentes características, cada uno con procesos internos que pueden auto-organizarse estocásticamente y que, no sólo operan de manera aislada, sino que también afectan y son afectados por otros sistemas, retroalimentándose y, eventualmente, cambiando, adaptándose y evolucionando para mantenerse relevantes o viables a lo largo del tiempo, a través de cambios morfológicos como respuesta a los desafíos o cambios en las necesidades del propio sistema, o abriéndose a las demandas de los sistemas con los que interactúa activamente.

Una de las limitaciones históricas de muchas Teorías de la Complejidad es la tendencia a concentrarse casi exclusivamente en los macrosistemas macroscópicos (galaxias, planetas, ecosistemas, etc.), donde la dinámica entre energía, espacio y tiempo es más lenta y predecible en comparación con los sistemas de micropartículas o biológicos. De hecho, la dinámica cuántica tiene un impacto significativo en los sistemas más grandes e ignorar esta escala es dejar fuera una parte esencial de la complejidad. Las fluctuaciones cuánticas, los principios de incertidumbre y las superposiciones cuánticas introducen comportamientos estocásticos y no lineales que deben ser considerados en cualquier teoría de la complejidad. Por su parte, el macrosistema biológico presenta una complejidad única debido a la variabilidad de sus sistemas y la interacción permanente entre lo intrasistema y lo intersistema. Aquí, las interacciones son

mucho más dinámicas y la conectividad temporal juega un papel fundamental en la evolución, la adaptación y el comportamiento emergente.

Este entrecruzamiento de macrosistemas y sistemas, con sus respectivos comportamientos y funciones, ha generado una situación de procesos estallados en su complejidad y que sólo pueden ser descritos con metodologías dinámicas.

La taxonomía que proponemos es provisoria y creemos que esta situación no disminuye su valor sino que, por el contrario, no hace más que transparentar la permanente dinámica de renovación de los sistemas y de las perspectivas de observación. Se trata de una propuesta provisional, abierta a cambios, agregados y reubicaciones.⁷⁵

Consideramos tres macrosistemas generales cada uno con un tipo de complejidad que le es propia:

- | | | |
|---|------------------------------|-------------------|
| ● | Macrosistema micropartículas | Cuanticomplejidad |
| ● | Macrosistema macroscópico | Macrocomplejidad |
| ● | Macrosistema biológico | Biocomplejidad |

Esta sistematización, esta propuesta de taxonomía, proporciona una forma útil de pensar sobre la complejidad en diferentes escalas y contextos. Es una aproximación que permite a los observadores humanos comprender y estudiar la vasta variedad de comportamientos y funciones en nuestro universo. Sin embargo, es importante recordar que estas categorías no son estrictas y hay áreas de solapamiento, superposición y transición entre ellas, donde los límites pueden ser difusos y los fenómenos pueden ser influenciados por múltiples niveles de complejidad.

Estos entrelazamientos demuestran que la naturaleza es un sistema complejo interconectado. El estudio de un nivel de complejidad, a menudo requiere comprensión y herramientas de otro

⁷⁵ De hecho, esta taxonomía es operativa y funcional con el objetivo de mostrar los distintos niveles de complejidad.

nivel y es, precisamente, esta interdisciplinariedad y transdisciplinariedad lo que pueden llevar a descubrimientos y comprensiones más profundas.⁷⁶

1. MACROSISTEMA MICROPARTÍCULAS. CUANTICOMPLEJIDAD

Desde un punto de vista evolutivo, este universo comenzó hace 13.8 mil millones de años con fluctuaciones cuánticas microscópicas⁷⁷ que, a medida que el cosmos se expandía, dieron lugar a inhomogeneidades: estructuras irregulares y discontinuas que originaron las galaxias y todos los sistemas macroscópicos. Estas estructuras, formadas por bloques de materia y energía con niveles específicos de momento angular, establecieron las bases de la complejidad observable en el universo actual.

El macrosistema de micropartículas abarca la escala más pequeña, la de las partículas subatómicas y atómicas, donde la mecánica cuántica domina la descripción de las interacciones y comportamientos. Su origen se remonta a los primeros instantes del universo, durante procesos como la bariogénesis y la nucleosíntesis primordial. En este período, partículas elementales como quarks, leptones y gluones se combinaron para formar protones, neutrones y eventualmente núcleos ligeros. Este proceso de organización temprana-

⁷⁶ Tanto el pensamiento abductivo de Peirce como el rizomático de Guattari y Deleuze pueden vincularse con los tres macrosistemas propuestos por el SSC aunque su relevancia y aplicabilidad pueden variar en función del nivel de análisis y la naturaleza específica del sistema en estudio. La abducción es especialmente útil en la generación de hipótesis y teorías en todos los niveles, mientras que el pensamiento rizomático es particularmente adecuado para describir y entender las interconexiones y relaciones en sistemas complejos macroscópicos y biológicos.

⁷⁷ La inflación cósmica tuvo un impacto significativo en los flujos de energía, la morfología estructural y la conectividad temporal del universo. Antes de la Inflación Cósmica, la energía estaba extremadamente concentrada en una región muy pequeña del espacio. Los flujos de energía eran caóticos debido a la alta densidad y temperatura. No existían estructuras definidas; el universo estaba en un estado primordial de plasma de quarks-gluones. Los eventos y las interacciones ocurrían a una velocidad extremadamente rápida debido a las altas energías. Después de la Inflación Cósmica, la energía del universo se disipó rápidamente, reduciendo significativamente la densidad de energía y comenzó a fluir de manera más dirigida, permitiendo la formación de estructuras más grandes y complejas.

na introdujo diversidad y complejidad, sentando las bases estructurales del universo.

Las interacciones entre partículas no solo dieron origen a la materia, sino que también generaron fenómenos emergentes que no pueden explicarse únicamente a partir del comportamiento de las partículas individuales. Ejemplos de ello son el campo de Higgs, que proporciona masa a las partículas y las interacciones cuánticas multiescala, que producen comportamientos no lineales y altamente interconectados. Estos fenómenos cuánticos subrayan cómo la complejidad puede surgir de dinámicas aparentemente simples cuando se observan en sistemas amplios y profundamente interrelacionados.

La física cuántica nos muestra que una micropartícula no está "atada" a un solo lugar o estado como solemos imaginar en el mundo macroscópico. En cambio, se comporta como una red en la que cada partícula (como una abeja con su enjambre) está conectada e influenciada por las demás, de una manera casi "coreografiada". Esta red de conexiones, aunque contraintuitiva, ha sido verificada experimentalmente, mostrándonos un nivel de complejidad y organización en la naturaleza que va más allá de lo que podemos observar con nuestros sentidos y nuestra intuición cotidiana.

Este comportamiento en red y la idea de la partícula-enjambre nos obligan a ver el espacio y los flujos de energía no como trayectorias definidas, sino como interacciones dinámicas e interdependientes. La cuántica nos recuerda que el universo no solo está formado por entidades aisladas, sino que es, en su esencia, una vasta y sutil red de relaciones.

Por otro lado, los comportamientos energéticos son radicalmente diferentes debido a la naturaleza cuántica de las partículas y las leyes que las rigen. En estos sistemas, en lugar de movimientos continuos como en los macroscópicos, encontramos fenómenos como:

1. **Superposición (multiubicuidad) cuántica:** Las partículas pueden existir en múltiples estados simultáneamente hasta que se realiza una medición.
2. **Túnel cuántico:** Las partículas pueden atravesar barreras de energía que, desde una perspectiva macroscópica, parecerían insuperables.
3. **Fluctuaciones cuánticas:** Debido a la naturaleza probabilística de la mecánica cuántica, las partículas en el vacío pueden experimentar fluctuaciones espontáneas de energía.
4. **Entrelazamiento cuántico:** Dos o más partículas pueden correlacionar sus estados instantáneamente, sin importar la distancia que las separa, lo que representa una forma de interacción sin los movimientos clásicos de transmisión.
5. **Interferencia cuántica:** Al comportarse tanto como ondas como partículas, los sistemas cuánticos pueden exhibir comportamientos de interferencias invisibles a escala macroscópica, pero cruciales a nivel de micropartículas.

En el nivel cuántico, es difícil distinguir entre lo energético y lo estructural porque las partículas no se comportan como los objetos macroscópicos a los que estamos acostumbrados. Algunas razones clave para esta dificultad incluyen:

1. **Dualidad onda-partícula:** Las entidades cuánticas, como electrones o fotones, pueden comportarse tanto como partículas (estructuras definidas en el espacio) como ondas (manifestaciones de energía). Esta dualidad dificulta separar estrictamente "energía" de "estructura", ya que ambos comportamientos están intrínsecamente ligados.
2. **Superposición o multiubicuidad⁷⁸ cuántica:** Una partícula puede existir en múltiples estados o posiciones simultáneamente, borrando

⁷⁸ Afirmar que una partícula está en "superposición" equivale a afirmar que está en multiubicuidad relacional, es decir, que su ubicación y estado depende de su conectividad temporal (CT) y morfología estructural (ME) en el sistema.

la distinción clara entre una estructura definida y los niveles de energía asociados. Solo cuando se mide una propiedad, como la posición o el estado energético, la partícula adopta un valor concreto.

3. Principio de incertidumbre: Establece que no es posible conocer simultáneamente con precisión absoluta dos propiedades complementarias de una partícula, como su posición (estructura) y su momento (energía en movimiento). Esto implica que definir con precisión una estructura afecta la comprensión de la energía y viceversa.

4. Entrelazamiento cuántico: Las partículas entrelazadas no tienen una estructura localizable o un estado de energía individual que pueda describirse por separado. La energía y la estructura de cada partícula dependen de su relación con la otra partícula entrelazada, complicando aún más la separación entre estos conceptos.

5. Función de onda: Describe el estado de un sistema, incluyendo tanto la distribución espacial (estructura) como la energética. No es posible observar directamente esta función, sólo sus efectos probabilísticos al realizar una medición.

En resumen, en el nivel cuántico, las categorías clásicas de "estructura" y "energía" se entrelazan y se vuelven indistinguibles en muchos casos, ya que la energía puede manifestarse de forma estructural y las estructuras pueden definirse en términos de probabilidades energéticas. La física cuántica desafía las nociones intuitivas de causa y efecto, continuidad y localización que nuestro cerebro utiliza para navegar en el mundo macroscópico.

El macrosistema micropartículas, debido a su naturaleza subatómica y cuántica, es considerado el más complejo de todos los sistemas. La presencia de un sujeto observador añade aún más complejidad al sistema, debido al principio de indeterminación de Heisenberg y al efecto del observador en la mecánica cuántica. Esto implica que la simple observación de un fenómeno cuántico puede

alterar su estado, haciendo que la medición y la predicción sean extremadamente desafiantes.

La complejidad en el macrosistema de micropartículas se manifiesta como el resultado de una combinación de interacciones, principalmente a través de interacciones cuánticas y electromagnéticas. Estas interacciones, que incluyen el entrelazamiento cuántico, la superposición y las fuerzas electromagnéticas entre partículas subatómicas, generan configuraciones estructurales en constante cambio. En el contexto del SSC, estas interacciones no son meramente lineales ni deterministas, sino que reflejan cómo los flujos de energía pueden organizarse en nuevas estructuras a través de una dinámica compleja y estocástica. Esta dinámica no es predecible en su totalidad debido a la naturaleza probabilística de los sistemas cuánticos y las múltiples formas en que estos sistemas complejos pueden interactuar entre sí.

Los comportamientos complejos en la física cuántica evidencian que: a) los elementos de un sistema cuántico están intrínsecamente interconectados y no pueden entenderse aisladamente; b) estos sistemas no siguen trayectorias lineales ni predecibles, lo que desafía los modelos deterministas; c) la predicción y el control absolutos son inviables, siendo necesario recurrir a probabilidades y considerar escenarios emergentes; d) la existencia de fenómenos como la superposición requiere de modelos multidimensionales para su adecuada comprensión, lo cual resalta la pertinencia de paradigmas avanzados.

El SSC propone que la complejidad en este macrosistema no debe entenderse en términos determinísticos, sino como el resultado de una red de interdependencias entre los sistemas en diferentes niveles de organización (intra e intersistémica). Este posicionamiento es clave para comprender la impredecibilidad y la estocasticidad que caracterizan los sistemas cuánticos y cómo estas propiedades influyen en la generación de nuevas configuraciones estructurales.

En los sistemas de micropartículas, como los que se encuentran en la física de la materia condensada, la química y la biología molecular, la interacción entre los flujos de energía, la morfología estructural (espacio) y las estrategias de conectividad temporal, son fundamentales para entender la dinámica y las propiedades del sistema. En estos sistemas, los flujos de energía pueden manifestarse de varias formas, como energía térmica, energía química en reacciones, energía electromagnética en interacciones de carga y energía mecánica en movimientos y deformaciones. Estos flujos de energía pueden alterar los estados electrónicos, las conformaciones moleculares y las interacciones entre las micropartículas, lo que, a su vez, afecta la estructura y la función del sistema. La morfología estructural en los sistemas de micropartículas se refiere a la disposición espacial y la organización de las partículas, que puede variar desde estructuras cristalinas altamente ordenadas, hasta configuraciones amorfas o líquidas más desordenadas. La morfología influye en cómo las micropartículas interactúan entre sí y cómo los flujos de energía se distribuyen y disipan dentro del sistema. Las propiedades de transporte, ópticas, magnéticas y electrónicas del sistema, están profundamente influenciadas por su estructura espacial. En estos sistemas, las "estrategias de apagado y encendido" pueden relacionarse con transiciones de fase, cambios conformacionales, reacciones químicas que se activan o desactivan, y la manipulación de estados cuánticos, entre otras posibilidades. Estos cambios pueden ser inducidos o modulados por flujos de energía y dependen de la estructura del sistema.

2. MACROSISTEMA MACROSCÓPICO Y MACROCOMPLEJIDAD

El macrosistema macroscópico cubre la escala que va desde átomos y moléculas hasta estrellas, galaxias y todo el universo. En esta escala, las leyes de la física clásica (como la mecánica newtoniana o la termodinámica) son generalmente aplicables. Sin

embargo, a medida que nos movemos hacia sistemas más grandes, como galaxias o cúmulos de galaxias, la teoría de la relatividad general de Einstein se vuelve más relevante.

En astronomía, fenómenos como la formación de galaxias, supernovas, agujeros negros y la dinámica de cúmulos de galaxias involucran interacciones extremadamente complejas de materia y energía a escalas gigantescas. Estos eventos no solo afectan la estructura del universo, sino que también influyen en la formación de elementos químicos y en la evolución de las estrellas y planetas.

La dinámica de las estrellas es un excelente ejemplo de un sistema complejo evolutivo. Las estrellas mantienen su estructura gracias al equilibrio dinámico entre la fuerza de gravedad, que tiende a colapsarlas y la presión interna generada por la fusión nuclear, que las expande. Este equilibrio no es estático; está sujeto a cambios y asimetrías que influyen en la evolución de la estrella a lo largo de su vida. La tensión en las estrellas es similar a la forma en que los sistemas complejos funcionan en general. Estos sistemas están en un estado continuo de cambio debido a las diversas fuerzas y factores que interactúan en ellos. Las asimetrías, fluctuaciones, ruidos y retroalimentaciones dentro del sistema contribuyen a su evolución, adaptabilidad y capacidad de generar comportamientos emergentes.

En el contexto del SSC, esta dinámica puede entenderse como un flujo de energía y materia, donde las interacciones multiescala y los comportamientos emergentes son clave para la comprensión de la estructura y evolución del sistema. Por ejemplo, la tabla periódica no niega la existencia de la complejidad, sino que es una muestra parcial de un universo que combina orden y desorden, regularidad y ruptura, estabilidad e inestabilidad. Desde la perspectiva del SSC, la tabla periódica es la puerta de entrada a la complejidad, no su negación y, en tal sentido, reconoce esos órdenes locales, pero se ocupa de lo que ocurre cuando esos elementos interactúan con energía, espacio y

tiempo, formando sistemas vivos, sociales o físicos de altísima complejidad.

En física de sistemas complejos, también se estudian fenómenos como la meteorología, las dinámicas de fluidos y otros sistemas donde múltiples variables interactúan de manera no lineal.

La química inorgánica también presenta altos niveles de complejidad en sistemas macroscópicos. Aunque a menudo asociamos la complejidad molecular con la química orgánica debido a las grandes moléculas y estructuras biológicas, la química inorgánica estudia una amplia variedad de compuestos y materiales que pueden ser igualmente complejos. Las reacciones en compuestos químicos a menudo presentan emergencia debido a la interacción entre los elementos que los componen y las propiedades del compuesto resultante suelen ser diferentes de las propiedades de los elementos que lo forman. Por ejemplo, el agua es una sustancia con propiedades emergentes que no se pueden deducir directamente de las propiedades del hidrógeno o del oxígeno por separado.

Algunos ejemplos de complejidad en química inorgánica incluyen estructuras cristalinas y minerales que pueden involucrar redes tridimensionales extensas con patrones de enlace intrincados. Además, los metales de transición pueden formar complejos con diversos ligandos, creando estructuras con geometrías variadas y propiedades electrónicas únicas.

En el macrosistema macroscópico, emerge la complejidad de la interacción de fuerzas físicas clásicas, como la gravitación y el electromagnetismo, que gobiernan el movimiento y comportamiento de objetos y estructuras. Las leyes de la física clásica y la relatividad general predominan en esta escala, proporcionando un marco predictivo para entender la evolución de sistemas estelares, planetarios y moleculares. Sin embargo, la complejidad surge cuando consideramos la interacción de un gran número de partículas o cuerpos, lo que puede llevar a comportamientos no lineales y

fenómenos como la turbulencia en la dinámica de fluidos atmosféricos o la formación de estructuras galácticas a gran escala.

Los descriptores de los comportamientos de los sistemas macroscópicos son los más intuitivos y, tal vez, son aquellos que han recogido, desde la física, mayores niveles de descripción debido a la relevancia histórica que han tenido para el observador humano y para el desarrollo de instrumentos de observación de los mismos.⁷⁹

En el macrosistema macroscópico, los flujos de energía incluyen energía gravitacional, energía cinética, energía térmica y energía electromagnética que gobiernan el comportamiento de los objetos físicos. Aquí, la energía se transfiere de manera más predecible y sigue las leyes de la física clásica, como el intercambio de calor, el movimiento de planetas o la atracción gravitacional.

La morfología estructural es tangible y visible teniendo los objetos formas definidas (planetas, galaxias, montañas) y estas formas determinan cómo se distribuyen y canalizan los flujos de energía. La distribución de la masa y la geometría de los cuerpos afectan directamente el comportamiento energético, como la distribución de la gravedad en un sistema planetario o las fuerzas de atracción y repulsión entre objetos.

La conectividad temporal es lineal y sigue un flujo de causa y efecto, basado en la relatividad y las leyes de Newton. Los eventos y las interacciones siguen una secuencia temporal predecible. El tiempo se percibe como una dimensión continua y los cambios en el sistema se suceden de manera lógica y secuencial.

3. MACROSISTEMA BIOLÓGICO Y BIOCOMPLEJIDAD

El macrosistema biológico abarca todas las formas de vida, desde microorganismos hasta organismos multicelulares como los

⁷⁹ Es importante aclarar que el SSC no desconoce las leyes de la termodinámica. Sin embargo, reconoce que dichas leyes no fueron pensadas para describir combinaciones tan emergentes y complejas como las que propone el SSC, donde interactúan múltiples escalas y variables, bajo la dinámica de la interacción entre flujos de energía, morfología y conectividad.

seres humanos. La vida en el universo es un entramado de niveles de organización que se construyen progresivamente, desde los componentes más simples hasta sistemas sumamente complejos. Este viaje hacia la complejidad comienza con átomos y moléculas, se desarrolla en estructuras celulares y culmina en la biosfera, la red interconectada de todos los ecosistemas del planeta.

En el marco del SSC, los sistemas vivos operan a partir de tres dinámicas interdependientes: las funciones vinculadas a la identidad y estabilidad temporal, las operaciones coemergentes sincrónicas y los comportamientos evolutivos que surgen de manera secuencial y en escalada. Estas dinámicas interactúan y se afectan mutuamente, permitiendo la supervivencia, el desarrollo y la adaptabilidad de los sistemas vivos en constante interacción con otros sistemas. La identidad y estabilidad temporal refieren a la capacidad de un sistema de mantener su organización interna a lo largo del tiempo mediante la administración conservadora de sus flujos energéticos. Este proceso dinámico permite resistir perturbaciones y conservar la estructura del sistema, como ocurre con la homeostasis en organismos vivos, donde los mecanismos fisiológicos ajustan el equilibrio interno ante cambios en el entresistemas.

Las operaciones coemergentes sincrónicas surgen simultáneamente y funcionan como un ensamble interdependiente de actividades indispensables para el funcionamiento del sistema. Alimentarse, respirar y relacionarse con otros sistemas son ejemplos fundamentales, ya que no pueden comprenderse de manera aislada. En sistemas sociales organizados, como una colonia de abejas, estas funciones se manifiestan en la recolección de recursos, la comunicación y la organización interna, que operan de manera coordinada para sostener la supervivencia del conjunto. Esta sincronización es igualmente evidente en la integración de procesos biológicos dentro de un organismo, donde múltiples funciones ocurren en simultáneo y se sostienen unas a otras.

Las actividades evolutivas secuenciales y en escalada son aquellas que emergen progresivamente en respuesta a desafíos o posibilidades nuevas, ya sea desde la interacción entre elementos internos o por demandas del entresistema. A medida que los sistemas enfrentan nuevas exigencias, desarrollan habilidades que modifican su estructura y su comportamiento, transformándose y adaptándose a condiciones cambiantes. La evolución de las extremidades en peces para desplazarse en tierra firme y la aparición de las mitocondrias por interacciones simbióticas son ejemplos de cómo la interacción interna y externa genera cambios adaptativos en los sistemas vivos.

Estas tres funciones no operan de manera aislada, sino que forman un entramado dinámico donde cada una influye y depende de las otras. La estabilidad temporal facilita las operaciones coemergentes al proveer un marco de equilibrio, mientras que las actividades evolutivas permiten ajustes y transformaciones a medida que el entorno cambia. En un ecosistema, la identidad de un sistema biológico puede reflejarse en su equilibrio energético y organizacional, las operaciones coemergentes garantizan su funcionamiento diario y las adaptaciones evolutivas responden a exigencias intersistemas, permitiendo la continuidad y la transformación del sistema a lo largo del tiempo.

A nivel jerárquico, los sistemas biológicos comenzaron a existir hace aproximadamente 3.8 mil millones de años, luego de procesos de evolución química que dieron lugar a moléculas fundamentales como el agua, el dióxido de carbono y las macromoléculas complejas: proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos. Estas moléculas se organizaron en sistemas funcionales como los ribosomas y las cadenas de transporte energético, que permitieron la aparición de células, las unidades básicas de la vida. Las células se especializaron progresivamente, formando tejidos, órganos y sistemas de órganos, que a su vez permitieron la emergencia de organismos multicelulares con capacidades adaptativas más sofisticadas. Los organismos

interactúan con otros individuos y especies, formando poblaciones, comunidades, ecosistemas y, en última instancia, la biosfera, el macrosistema biológico global que mantiene la complejidad de la vida en el planeta.

La evolución de los sistemas multicelulares permitió diversificar las funciones de los organismos, optimizando los flujos de energía y la organización morfológica para responder a demandas cada vez más específicas.

Los dos sistemas centrales dentro de este macrosistema son los que incluyen a dos microsistemas, por un lado, a los vegetales y, por el otro, a los animales. La aparición de sistemas nerviosos complejos en animales representó un avance significativo en la capacidad de procesar información y responder a las exigencias de los sistemas de contacto, mientras que en plantas, los mecanismos de señalización interna permitieron una coordinación eficiente sin necesidad de un sistema nervioso centralizado. Estos avances estructurales implicaron no sólo un mayor aprovechamiento de los recursos energéticos, sino también una mayor conectividad temporal entre los procesos internos y las dinámicas externas del entorno.

Los flujos de energía, la morfología estructural y la conectividad temporal son los pilares sobre los que se construye la biocomplejidad en el macrosistema biológico. Los procesos metabólicos, las adaptaciones morfológicas y la sincronización temporal a través de ciclos biológicos y evolución muestran cómo los sistemas biológicos gestionan la complejidad de manera dinámica y regulada. La variabilidad y la estocasticidad inherentes a los sistemas vivos permiten que la vida se mantenga en un equilibrio dinámico entre estabilidad y cambio, optimizando el uso de la energía y la estructura para adaptarse a condiciones fluctuantes. Esta capacidad de mantenerse en tensión, al tiempo que evoluciona hacia formas cada vez más complejas, es lo que define la esencia misma de los sistemas

vivos y su interrelación con los sistemas circundantes. Este proceso se presenta, aunque con diferencias, en vegetales y animales.⁸⁰

En síntesis, el macrosistema biológico es un proceso evolutivo multiescalar y dinámico donde la vida emerge, se organiza y se transforma en función de la interacción entre flujos de energía, estructuras organizativas y tiempos de conexión. La identidad, la coemergencia sincrónica y la evolución secuencial son las funciones fundamentales que permiten a los sistemas vivos no solo sobrevivir, sino también adaptarse y complejizarse en una red continua de relaciones internas y externas. Desde las moléculas más simples hasta la totalidad de la biosfera, la biocomplejidad refleja un equilibrio dinámico entre la estabilidad y el cambio, una constante interacción entre el intrasistema y el entresistemas que sostiene la vida en todas sus formas.

Las tres actividades y funciones de aprendizaje -cómputo, mapeo y cronometraje- en los sistemas biológicos son fundamentales para describir cómo estos sistemas complejos interactúan y evolucionan a partir de sus experiencias de intercambio. Esta perspectiva aporta una visión dinámica sobre cómo los sistemas biológicos procesan información, estructuran su interacción con otros sistemas y sincronizan sus actividades a lo largo del tiempo.

- **Cómputo:** El cómputo es la forma en que un sistema gestiona el flujo de energía para adaptarse a sus necesidades y a las interacciones con otros sistemas, optimizando la distribución y el uso de los recursos energéticos. Se centra en el tratamiento y administración de los flujos de energía, procesando la información y los intercambios energéticos dentro del sistema. El cómputo en sistemas biológicos puede entenderse, además, como el procesamiento de información

⁸⁰ Los biólogos han destacado la comunicación entre las plantas a través de señales químicas y físicas, así como la formación de redes y colaboración entre individuos. Además, las plantas muestran capacidades para resolver problemas, como la búsqueda eficiente de recursos, la defensa contra depredadores y la optimización del crecimiento y la reproducción, entre otras habilidades complejas.

que permite a los organismos una revisión del estado del intrasistema y sus posibilidades de pérdidas y ganancias en la interacción entresistemas. Los flujos de energía son esenciales para este procesamiento de información, ya que proporcionan el "combustible" necesario para las reacciones bioquímicas y los procesos celulares que sustentan el cómputo biológico.

- **Mapeo:** está relacionado con la morfología estructural, representando cómo los sistemas organizan, estructuran y visualizan sus componentes y relaciones internas y cómo se relacionan con otros sistemas. Es dinámico y va ajustando la estructura del sistema en función de la retroalimentación que recibe de los sistemas circundantes. La estructura física es, en gran medida, un mapa tangible de cómo se relaciona con su entorno energético y biológico. Los organismos crean "mapas" mentales o neuronales de los demás sistemas para navegar y operar manteniendo el bienestar y la supervivencia. Esta capacidad es evidente, por ejemplo, en la habilidad de los animales para recorrer sus hábitats, encontrar comida y evitar peligros. Los "mapas" no son necesariamente visuales; pueden ser cognitivos, químicos o basados en otro tipo de señales. El mapeo es esencial para el aprendizaje porque permite a los organismos recordar y anticipar situaciones basadas en experiencias anteriores.

- **Cronometraje:** corresponde a la conectividad temporal, gestionando la sincronización, duración y secuencia de las interacciones y eventos. Los sistemas ajustan su cronometraje (defensivo y de crecimiento, por ejemplo) en función de los eventos que ocurren en otros sistemas (como la aparición de depredadores o la disponibilidad de agua, por ejemplo). Estas respuestas están vinculadas con la forma en que el sistema se conecta temporalmente con otros sistemas de contacto.

Desde el SSC consideramos que este comportamiento de aprendizaje está presente en diferentes modalidades, tanto en los

microsistemas vegetales como animales⁸¹. Estos microsistemas tienen la posibilidad y la necesidad de trazar mapas para poder sobrevivir. Se trata de mapas sensibles, cognitivos y emocionales. Aquí, la información-energía puede entrelazarse de diversas maneras dentro del sistema y puede intercambiarse de múltiples formas con otros sistemas. Estas interacciones están guiadas por elecciones aprendidas a través de ensayo y error exitoso en el contexto de la supervivencia. Elementos como el pensamiento, la toma de decisiones, los vínculos y los desplazamientos contribuyen a la adaptabilidad y complejidad de los sistemas biológicos.

La vida podría ser caracterizada como un sistema complejo y adaptable capaz de transformar la energía propia y la de otros sistemas mediante el mapeo, generando la información necesaria para su gestión a través del cómputo y regular la activación y desactivación de funciones según los requisitos temporales de cada función del sistema, en un proceso de cronometraje. La tripartición de funciones de aprendizaje -cómputo, mapeo y cronometraje- tiene una sorprendente compatibilidad con muchos de los hallazgos de las neurociencias ya que refleja la organización fundamental del cerebro y otros sistemas biológicos en términos de procesamiento de información, organización estructural y sincronización temporal.⁸²

En las neurociencias, el cómputo neuronal se refiere a cómo las neuronas y redes neuronales procesan señales eléctricas y químicas

⁸¹ En el caso de los vegetales, los móviles pueden interpretarse como respuestas biológicas o adaptativas más que como experiencias conscientes. Aunque no sienten miedo o placer como los humanos o animales, responden a estímulos de los demás sistemas de manera sofisticada. En el SSC, estas respuestas pueden analizarse como parte de un sistema interrelacionado que sigue comportamientos de cómputo, mapeo y cronometraje, lo que permite entender mejor cómo las plantas sobreviven y prosperan.

⁸² Los neurotransmisores como la serotonina, dopamina, acetilcolina, glutamato, GABA, noradrenalina y endorfinas son fundamentales en los sistemas biológicos y se relacionan con el cómputo, el mapeo y el cronometraje. En el cómputo, procesan información y regulan decisiones, como la dopamina en la evaluación de recompensas o la serotonina en la regulación emocional. En el mapeo, contribuyen a la representación interna del entorno y el estado interno, con el glutamato formando conexiones sinápticas duraderas y la acetilcolina mejorando la atención y la memoria espacial. En el cronometraje, sincronizan actividades y secuencias temporales, siendo la dopamina crucial para la percepción del tiempo y la serotonina para los ritmos circadianos.

para generar respuestas adaptativas. En el cerebro, los potenciales de acción y la integración sináptica son ejemplos de procesos de cómputo. Las neuronas integran múltiples señales excitatorias e inhibitorias y "calculan" si deben disparar un potencial de acción.

La plasticidad estructural del cerebro es un reflejo de esta capacidad de mapeo, ya que permite reorganizar circuitos neuronales en respuesta a la experiencia. La corteza somatosensorial y la corteza motora del cerebro están organizadas topográficamente en mapas somato-tópicos que representan diferentes partes del cuerpo.

El cronometraje neuronal es fundamental para la sincronización de la actividad cerebral y para la coherencia funcional entre diferentes regiones del cerebro. Este cronometraje permite que el cerebro coordine la actividad de redes neuronales distribuidas para generar comportamientos y percepciones coherentes. Los ritmos cerebrales (ondas alfa, beta, gamma, delta, etc.) son un ejemplo de cómo el cerebro regula el cronometraje de la actividad neuronal.

La teoría evolucionista ha demostrado cómo sistemas complejos pueden evolucionar a partir de estructuras más simples mediante procesos graduales y acumulativos. La evidencia a favor de la evolución proviene de una gran cantidad de estudios en genética, biología evolutiva y el registro fósil, lo que refuerza la idea de que la selección natural puede producir sistemas altamente complejos sin necesidad de intervención sobrenatural. En el evolucionismo, la supervivencia depende de los organismos que están mejor adaptados a su entorno, favorecidos por la selección natural en función de sus características innatas.

Para el SSC, la clave no está solo en las características individuales, sino en la capacidad del sistema para combinar eficazmente sus elementos internos (por ejemplo, funciones biológicas) con otros sistemas externos (otros organismos o elementos del entresistemas).

La supervivencia y el bienestar dependen de estas interacciones y combinaciones.⁸³

⁸³ En este marco, los conceptos de redes booleanas y paisajes de fitness introducidos por Kauffman ofrecen herramientas complementarias para modelar y comprender los sistemas biológicos. Las redes booleanas son un modelo matemático que permite representar las interacciones genéticas y las redes de regulación en los sistemas biológicos. Por otro lado, los paisajes de fitness representan una metáfora poderosa para entender cómo los sistemas biológicos (y, por extensión, otros sistemas complejos) exploran un conjunto de posibilidades para adaptarse a su entorno.

CAPÍTULO SIETE

LOS DESCRIPTORES DE CADA SUPRASISTEMA

El Saber Supercomplejo (SSC) propone que la estabilidad, lejos de ser un estado fijo o predeterminado, es una propiedad constitutiva en los sistemas complejos. Esto implica que la estabilidad no es una condición de partida ni un estado permanente, sino el resultado de interacciones internas, fluctuaciones y ajustes continuos en el sistema. La estabilidad es dinámica y responde a las mismas fuerzas de cambio y evolución que generan comportamientos emergentes. En este sentido, el SSC entiende que estabilidad y emergencia no son opuestos, sino manifestaciones complementarias de la dinámica de los sistemas complejos.

El enfoque del SSC combina comportamientos que son:

1. **Dinámicos:** En constante cambio, con flujos de energía, información y materia que interactúan y transforman el sistema.
2. **Evolutivos:** Adaptativos, con capacidad de responder y modificarse ante nuevas condiciones.
3. **Circulares:** Incluyen retroalimentación y relaciones bidireccionales entre los componentes del sistema.
4. **Estocásticos:** Incorporan elementos de incertidumbre y variabilidad, reflejando la imprevisibilidad inherente a los sistemas complejos.

El presente cuadro presenta, por cada macrosistema, los descriptores de comportamiento complejo en las dimensiones energéticas (flujos de energía), espaciales (morfología estructural) y temporales (conectividad temporal) según el Saber Supercomplejo (SSC).

Tipo de complejidad	Complejidad en flujos energéticos (energética)	Complejidad en morfología estructural (espacial)	Complejidad en Conectividad temporal (temporal)
Macro-sistema Micro-partículas CUANTI-COMPLEJIDAD	-Entrelazamiento -Autoorganización	-Autoorganización -Superposición o multiubicuidad -Morfología estocástica -Decoherencia	-Incertidumbre (energía-tiempo)
Macro-sistema Macroscópico MACRO-COMPLEJIDAD	-Tensión dinámica -Autoorganización -Circularidad -Emergencia intrasistema, entresistemas, intersistemas y coemergencia - Resistencia	-Tensión dinámica -Resistencia -Emergencia intrasistema, entresistemas, intersistemas y coemergencia -Plasticidad -Morfología estocástica	-Conectividad temporal
Macro-sistema Biológico BIO-COMPLEJIDAD	Cómputo -Metabolismo -Autocatálisis -Comunicación celular -Toma de decisiones	Mapeo -Morfogénesis -Plasticidad	Cronometraje -Evolución adaptativa. -Colaboración

	(Aprendizaje)		
--	---------------	--	--

A continuación, detallaremos los diferentes descriptores de complejidad en el macrosistema micropartículas

Autoorganización

En sistemas de micropartículas, la autoorganización puede incluir interacciones térmicas, electromagnéticas o de otro tipo. Los flujos energéticos facilitan la redistribución de la energía entre las partículas, permitiendo que el sistema explore diferentes configuraciones y, eventualmente, encuentre estados de menor energía que sean más estables. En el contexto cuántico, este comportamiento puede aplicarse a fenómenos como la formación de estados cuánticos coherentes (por ejemplo, condensados de Bose-Einstein⁸⁴), donde partículas a temperaturas ultrabajas se comportan de manera compleja, es decir, una gran fracción de los átomos colapsa en el estado cuántico de energía más baja disponible y sus funciones de onda se superponen, formando un estado macroscópico singular en el que las partículas se comportan colectivamente como una sola entidad cuántica. Es por esto que nosotros consideramos que este comportamiento es energético y espacial.

Entrelazamiento

El entrelazamiento cuántico es un fenómeno profundamente no clásico en el que los estados cuánticos de dos o más partículas se relacionan, de tal manera, que el estado de una partícula no puede describirse independientemente del estado de la otra, incluso, si están separadas por grandes distancias. En sistemas entrelazados, la medición de una partícula instantáneamente determina el estado de

⁸⁴ Los condensados de Bose-Einstein se forman cuando átomos de bosones (partículas que cumplen con la estadística de Bose-Einstein) se enfrían a temperaturas extremadamente cercanas al cero absoluto (0 Kelvin o -273.15°C).

la otra, independientemente de la distancia que las separe. Aunque esto no implica una transferencia de energía clásica a través del espacio, sí indica una correlación instantánea de propiedades que puede ser utilizada, por ejemplo, en el teletransporte cuántico de estados. Las partículas entrelazadas pueden existir en superposiciones de estados hasta que se mide una de ellas. Esta superposición, que es fundamental para el entrelazamiento, puede afectar cómo se "almacena" y "transfiere" la información cuántica, pero no implica un flujo de energía en el sentido clásico. En la superposición, las partículas existen en múltiples estados o posiciones simultáneamente, lo que se puede considerar como un flujo de energía potencial distribuido a través de estas posibilidades. La estructura morfológica de las partículas en superposición es, por naturaleza, indeterminada hasta que se realiza una medición, momento en el cual la función de onda colapsa en un estado específico. En el entrelazamiento, la interacción energética entre partículas entrelazadas trasciende la distancia física, implicando una no-localidad en la transferencia de información.

Morfología estocástica

Se refiere a las formas o estructuras que surgen de manera aleatoria o impredecible debido a la naturaleza inherente de los procesos estocásticos (basados en el azar) en estos sistemas. En el contexto de la física cuántica y los sistemas de micropartículas, esta noción captura cómo la indeterminación y la probabilidad juegan roles fundamentales en la determinación de las propiedades y comportamientos de tales sistemas.

El Principio de Incertidumbre de Heisenberg establece que hay un límite fundamental a la precisión con la que pueden conocerse simultáneamente ciertas propiedades de una partícula, como su posición y momento. Esto introduce una naturaleza fundamentalmente estocástica en la descripción de las micropartículas, ya que

solo se pueden dar probabilidades para estos valores. Las partículas subatómicas, como electrones y fotones, no se comportan de manera determinista en la escala cuántica, más bien, sus comportamientos y ubicaciones son descritos por funciones de onda cuánticas que dan probabilidades de encontrar la partícula en diferentes lugares, lo que puede llevar a comportamientos de interferencia y distribuciones de probabilidad complejas.

Desde la perspectiva del SSC, la morfología estocástica refleja cómo la interacción dinámica entre los flujos de energía y la conectividad temporal en sistemas de micropartículas da lugar a estructuras impredecibles, pero con comportamientos emergentes que pueden describirse probabilísticamente, lo que destaca la importancia de considerar tanto la energía como el espacio en la evolución de estos sistemas cuánticos.

Decoherencia

La decoherencia se refiere al proceso por el cual un sistema cuántico pierde sus propiedades de superposición cuántica debido a las interacciones con otros sistemas, resultando en una transición aparente, de un comportamiento cuántico a un comportamiento clásico. Este fenómeno es crucial para entender cómo se manifiesta el mundo clásico, aparentemente determinista, a partir de las leyes subyacentes de la mecánica cuántica, que son fundamentalmente probabilísticas y no deterministas.

La decoherencia cuántica proporciona un mecanismo para explicar cómo los estados cuánticos coherentes (donde las partículas pueden estar en superposiciones de estados) se "colapsan" a estados definidos. Este proceso es fundamental para entender la complejidad de la transición de los fenómenos cuánticos a la experiencia clásica macroscópica. La decoherencia destaca la complejidad de las interacciones entre un sistema cuántico y otro sistema no cuántico. Estas interacciones son las responsables de la "pérdida" de

coherencia cuántica y de la emergencia de un comportamiento clásico. La naturaleza y el grado de estas interacciones pueden ser extremadamente complejos y están influenciados por factores, tanto internos como externos al sistema. Aunque el foco está en las transiciones de estados, la decoherencia tiene un impacto significativo en la organización espacial del sistema cuántico.

En el proceso de decoherencia, los flujos energéticos juegan un papel crucial. La interacción del sistema cuántico con los otros sistemas no cuánticos implica una transferencia de energía, la que puede ser generada por colisiones, fluctuaciones térmicas, o cualquier perturbación externa. A medida que el sistema intercambia energía, las coherencias cuánticas entre los estados se destruyen, ya que las fluctuaciones energéticas inducen fases aleatorias en los estados cuánticos superpuestos. La morfología estructural de un sistema cuántico puede ser significativamente alterada durante la decoherencia. Inicialmente, en un estado cuántico coherente, la estructura del sistema está definida por las superposiciones y las interferencias cuánticas. Sin embargo, a medida que la decoherencia progresa, estas superposiciones se destruyen y la estructura del sistema se vuelve más clásica.

Desde el enfoque del SSC, la decoherencia se interpreta como un fenómeno donde la interacción energética del sistema cuántico con su entorno lleva a una reorganización morfológica que genera una transición entre comportamientos cuánticos complejos y un estado macroscópico más estable. Esto refleja cómo la interacción entre energía, espacio y tiempo puede transformar la naturaleza del sistema.

Superposición

Una partícula en superposición no está confinada a una sola posición en el espacio, sino que puede ocupar varias posiciones simultáneamente, lo que desafía la noción clásica de localización

precisa. Nosotros entendemos esta “multiubicuidad” al sostener que su ubicación y estado depende de su conectividad temporal (CT) y morfología estructural (ME) en el sistema.

En términos temporales, la superposición introduce una no-linealidad en la evolución de los sistemas de micropartículas. El colapso de la superposición, es decir, el momento en que la partícula adopta un estado definido al ser medida, es un fenómeno temporal que marca un antes y un después en el comportamiento del sistema.

Incertidumbre (energía-tiempo)

Este descriptor establece que ciertas parejas de variables físicas, como la posición y el momento, o la energía y el tiempo, tienen una relación de incertidumbre tal que la precisión con la que se puede medir una implica una limitación en la precisión con la que se puede conocer la otra. La incertidumbre en sistemas de micropartículas, particularmente la relación de incertidumbre energía-tiempo, es un descriptor crucial de comportamientos complejos y tiene implicaciones profundas en la dimensión temporal de estos sistemas. Esta relación es una expresión del principio de incertidumbre de Heisenberg, que en su forma energía-tiempo establece que no es posible determinar simultáneamente y con precisión absoluta, la energía de un sistema y el tiempo durante el cual se mantiene esa energía.

Este principio tiene consecuencias prácticas en fenómenos como las transiciones entre niveles de energía en los átomos. La incertidumbre energía-tiempo implica que tales transiciones no ocurren de forma instantánea, sino que hay una indeterminación intrínseca en el tiempo que estas transiciones toman, lo que genera efectos observables como el ensanchamiento espectral de las líneas de emisión y absorción. Estos efectos no solo revelan la naturaleza probabilística de los sistemas cuánticos, sino que también muestran

cómo la incertidumbre temporal afecta la predictibilidad y la estabilidad de los sistemas.

Desde la perspectiva del SSC, la relación energía-tiempo no solo resalta las limitaciones en nuestra capacidad de medir los sistemas cuánticos, sino que también subraya la interacción dinámica entre energía y tiempo como factores que modelan la complejidad de los sistemas. Esta incertidumbre temporal introduce una fluctuación constante en la conectividad temporal de las micropartículas, contribuyendo a la complejidad general del sistema y afectando su morfología estructural y su evolución en el tiempo.

A continuación, detallaremos los diferentes descriptores de complejidad en el macrosistema macroscópico.

Descriptores energéticos

Tensión dinámica

Se refiere a la interacción entre la estabilidad y la variabilidad en un sistema complejo. En lugar de buscar un estado estable y estático, los sistemas complejos se mantienen en un delicado equilibrio entre la necesidad de mantener cierta coherencia y estabilidad y la capacidad de adaptarse a cambios y desafíos externos. Este equilibrio energético-informativo es crucial para comprender la dinámica de los sistemas complejos, ya que les permite no solo responder a eventos impredecibles, sino también evolucionar en consonancia con otros sistemas.

Si un sistema se vuelve demasiado estable, puede volverse rígido y no ser capaz de adaptarse a nuevas circunstancias. Por otro lado, si es demasiado variable, el sistema podría volverse caótico y perder su estructura. La tensión dinámica, por lo tanto, se refiere a la búsqueda constante de un equilibrio óptimo entre estabilidad y variabilidad en un sistema complejo. Por ello, para el SSC es tan importante la descripción y observación de la estabilidad como la de las emergencias y las resistencias. Sin entender y observar la estabilidad

de un sistema complejo, es posible que se pasen por alto las señales de la emergencia. La tensión dinámica proporciona un contexto y una base para evaluar los cambios en el sistema y detectar las propiedades emergentes que pueden surgir. Si el sistema no se mantiene estable, es posible que la emergencia no sea percibida o, peor aún, pueda conducir a la inestabilidad o al colapso del sistema.

Por lo tanto, la descripción y observación de la tensión dinámica de un sistema complejo son fundamentales para poder comprender y percibir la emergencia de nuevas propiedades o comportamientos. Esto incluye la comprensión de cómo los componentes del sistema interactúan entre sí, cómo se mantiene el equilibrio y cómo se producen los cambios dentro del sistema.

Así, la descripción y observación de la tensión dinámica permiten comprender cómo los componentes del sistema interactúan entre sí, cómo se mantiene el equilibrio energético-informativo y cómo se producen los cambios dentro del sistema.

Desde la perspectiva del SSC, la capacidad de un sistema macroscópico para mantener esta tensión dinámica es lo que le permite adaptarse a nuevas condiciones sin perder su coherencia interna. Esta tensión es clave para la evolución y la resiliencia de los sistemas complejos, ya que les permite encontrar nuevos equilibrios a medida que interactúan con sistemas de contacto.

Resistencia

De la mano de la tensión, existe la resistencia como otro aspecto esencial de la complejidad. Se refiere a la capacidad de un sistema complejo para mantener su estructura y función frente a cambios y perturbaciones, ya sean internos o externos. Esta resistencia es fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente y evitar la inestabilidad o el colapso del sistema. La resiliencia, que conforma la resistencia, se refiere a la capacidad del sistema para recuperarse después de cambios y perturbaciones. En fin, los sistemas complejos

mantienen su estabilidad energética y estructural a través de diversos mecanismos de regulación y adaptación. La "robustez" y "fragilidad", generalmente, se asocian a este descriptor, para considerarlo especialmente en relación con la resistencia y la capacidad de un sistema para manejar perturbaciones. La relación entre estos elementos es lo que permite a un sistema complejo no solo soportar cambios, sino también prosperar en dinámicas complejas de vinculación.

Emergencia

Por su parte, la emergencia es la consecuencia de la interrelación de los flujos de energía, o modificaciones de las morfologías estructurales, que ocurre cuando los elementos de un sistema complejo interactúan entre sí, o cuando elementos de otro sistema interactúan con el primero, o cuando dos o más sistemas interactúan entre sí. Para el SSC, las emergencias no comienzan espontáneamente ni son producto de una causa determinada; más bien, son consecuencia de las turbulencias del interjuego entre componentes o entre sistemas.

Los comportamientos emergentes son características que surgen del sistema en su conjunto y que no pueden atribuirse directamente a ninguno de sus componentes individuales. Estos comportamientos, como se ha señalado, son el resultado de las interacciones de flujos de energía y la organización de los elementos del sistema.

La emergencia puede ser vista como una fuente de innovación y adaptabilidad en los sistemas complejos, permitiendo respuestas y soluciones creativas ante situaciones cambiantes. Este proceso es fundamental para la evolución de los sistemas complejos, ya que les otorga la capacidad de generar nuevos comportamientos adaptativos.

La aparición de comportamientos emergentes en un sistema complejo, puede ser tanto positiva como negativa. Por el lado

positivo, los comportamientos emergentes pueden resultar en mejoras y resultados inesperados que pueden ser beneficiosos para el sistema. Estos comportamientos pueden surgir a través de la interacción y cooperación de los componentes del sistema, lo que lleva a una mayor adaptabilidad, eficiencia y resiliencia. Sin embargo, por el lado negativo, los comportamientos emergentes también pueden tener efectos adversos, provocando desequilibrios, inestabilidad e incluso colapsos y hasta la desaparición del sistema. Estos desafíos pueden ser causados por la interacción de los componentes del sistema de una manera no intencionada o impredecible. En última instancia, la evaluación de los comportamientos emergentes en un sistema complejo, debe basarse en un análisis detallado de sus consecuencias y el entramado de sistemas específicos en el que ocurren. No se puede hacer una generalización sobre si son inherentemente positivos o negativos, ya que dependen de múltiples factores y variables.

Para el SSC, es posible concebir distintos tipos de emergencias en sistemas complejos, que pueden ocurrir, tanto dentro de un sistema, o como resultado de la interacción con sistemas externos. Estas emergencias pueden dar lugar a comportamientos complejos y circulares, con efectos tanto positivos como negativos.

a) Emergencia intrasistema: Este tipo de emergencia se refiere a la que surge por las interacciones que ocurren dentro de un sistema en particular. Estas interacciones involucran a los elementos que forman parte del mismo sistema y sus influencias mutuas. Por ejemplo, en un ecosistema, las interacciones entre diferentes especies y su impacto en el equilibrio del ecosistema serían consideradas interacciones intrasistemas.

b) Emergencia entresistemas: La emergencia entresistemas hace referencia a las interacciones que ocurren entre diferentes sistemas, que pueden tener un efecto significativo en la dinámica de los sistemas involucrados. Un ejemplo de esto sería la interacción entre

un sistema económico y un microsistema vegetal, que puede tener consecuencias tanto para la economía como para otros sistemas interconectados.

c) **Emergencia intersistema:** Se refiere a las interacciones que ocurren entre los componentes de un sistema y los componentes de otros sistemas. Describe las conexiones entre diferentes elementos de diferentes sistemas, lo que es importante para comprender cómo se transmiten los efectos a través de sistemas interconectados. Por ejemplo, en el marco de una situación de epidemia, la enfermedad (elemento del sistema salud) impacta en los componentes de los distintos sistemas interconectados, como puede ser, la interrupción de la presencialidad en las clases (elemento del sistema educativo)

d) **Coemergencia:** Se refiere a la idea de que, en el intercambio entre distintos sistemas o elementos, surge una emergencia conjunta o mutua. En lugar de considerar las emergencias como eventos aislados o independientes, se reconoce que los sistemas interactúan entre sí y que las emergencias pueden surgir como resultado de estas interacciones complejas. La noción de coemergencia destaca la interdependencia y la interconexión de los sistemas, donde las acciones o cambios en un sistema pueden desencadenar respuestas o consecuencias en otros sistemas. Ejemplo: el desarrollo urbano no planificado y el cambio climático pueden influirse mutuamente de manera compleja. Por un lado, el desarrollo urbano intensivo puede contribuir al cambio climático, a través de la emisión de gases de efecto invernadero y la reducción de áreas verdes. Por otro lado, los efectos del cambio climático, como el aumento del nivel del mar y las olas de calor, pueden tener un impacto directo en las ciudades, afectando la planificación urbana, la salud pública y la infraestructura.

Cada tipo de emergencia, además, puede manifestarse en modalidades sincrónicas o secuenciales, dependiendo de las dinámicas particulares de los sistemas implicados y las interacciones energéticas, espaciales y temporales entre ellos. Es importante

destacar que la coemergencia es siempre sincrónica, mientras que las otras emergencias pueden adoptar tanto modalidades sincrónicas como secuenciales, dependiendo del entresistemas.

La modalidad sincrónica de emergencia ocurre cuando las funciones o interacciones surgen simultáneamente, interdependientes y necesarias para la operatividad y supervivencia del sistema. En este contexto, las convergencias sincrónicas representan un conjunto de funciones críticas que no pueden separarse. Por ejemplo, en sistemas vivos, procesos como respirar, alimentarse y relacionarse fueron coemergencias sincrónicas toda vez que estas actividades se integraron al mismo tiempo y en un estado de interdependencia funcional que mantiene al sistema en equilibrio.

Por otro lado, las emergencias secuenciales surgen de forma progresiva, a menudo en respuesta a condiciones internas o externas que requieren una adaptación evolutiva o funcional en escalada. Estas emergencias esencialmente se observan en procesos intrasistemas y entresistemas, donde las actividades emergentes ocurren en un orden lógico o temporal. Por ejemplo, en un sistema vivo, la capacidad de desarrollar habilidades específicas como caminar o hablar puede surgir como una secuencia adaptativa a medida que el sistema interactúa con su entorno.

En definitiva, para el SSC, la emergencia no es el resultado de mecanismos aislados, sino de procesos de imbricación, donde las relaciones entre los elementos del sistema forman estructuras dinámicas. Estas imbricaciones no sólo conectan las partes, sino que las reconfiguran en formas que trascienden sus características originales, dando lugar a propiedades emergentes.

Circularidad

La circularidad describe un proceso en el cual los elementos del sistema se influyen y modifican mutuamente, a través de intercambios de flujos de energía, creando así un ciclo de

retroalimentación continua. Este concepto captura la esencia de cómo en la interacción, no solo se altera otro elemento, sino que también se produce una modificación en el elemento original, reflejando una interdependencia y coevolución dinámica dentro del sistema. Este concepto es fundamental en los sistemas complejos porque muestra cómo cada interacción entre elementos no es unidireccional, sino que genera un impacto recíproco.

Este proceso refleja la interdependencia y coevolución dinámica de los componentes del sistema. Cada intercambio energético dentro del sistema puede amplificarse o atenuarse a lo largo del tiempo debido a este ciclo continuo, lo que permite la adaptación del sistema y la emergencia de nuevas propiedades. La circularidad no solo implica que los elementos individuales del sistema interactúan y se modifican entre sí, sino que también el sistema en su totalidad se reconfigura a medida que esas interacciones se repiten y evolucionan.

Desde la perspectiva del SSC, la circularidad es clave para entender cómo los sistemas complejos mantienen su coherencia interna y adaptabilidad. A través de este proceso, el sistema puede ajustarse constantemente a nuevas condiciones y desafíos, sin perder su estructura fundamental. Este ciclo de retroalimentación es lo que le otorga al sistema su capacidad para evolucionar y responder de manera dinámica a las perturbaciones.

Autoorganización

Describe la capacidad inherente de estos sistemas de gestionar y distribuir su energía interna de manera autónoma y espontánea, sin la existencia de un control central racional. Este proceso se caracteriza por interacciones locales y descentralizadas entre los componentes del sistema, donde las estructuras se forman de manera espontánea. Esta capacidad se caracteriza por procesos que son parcialmente estocásticos y emergentes, donde la organización no es

el resultado de un diseño predefinido, sino de la interacción espontánea y auto-regulada de sus componentes.

Los sistemas complejos utilizan su energía interna para auto-regularse y adaptarse, respondiendo de manera flexible a las necesidades y condiciones tanto internas como externas. La capacidad del sistema para reorganizarse de manera eficiente depende de su habilidad para gestionar fluctuaciones energéticas y redistribuir energía en respuesta a perturbaciones. Esta gestión y redistribución de energía se realiza con un grado significativo de aleatoriedad, lo que permite a los sistemas mantener un equilibrio dinámico y funcionar de manera eficiente. La autoorganización, por lo tanto, es un pilar fundamental en la comprensión de cómo los sistemas complejos operan, evolucionan y mantienen su cohesión, subrayando la importancia de la espontaneidad en la emergencia y el mantenimiento del orden dentro de la complejidad.

La autoorganización, por lo tanto, es un pilar fundamental en la comprensión de cómo los sistemas complejos operan, evolucionan y mantienen su cohesión. Subraya la importancia de la espontaneidad y la flexibilidad en la emergencia y el mantenimiento de la estabilidad dentro de la complejidad, permitiendo que los sistemas se adapten y sobrevivan en situaciones cambiantes y desafiantes.

Descriptores espaciales

Estos descriptores subrayan cómo el espacio no es simplemente un contenedor pasivo para la actividad de un sistema, sino un participante activo y dinámico en los procesos de complejidad.

Plasticidad

La plasticidad, como descriptor espacial en sistemas complejos, implica una adaptabilidad y maleabilidad inherentes en la configuración espacial. Esta característica permite que el espacio no sólo se reconfigure en un proceso de performance en respuesta a variaciones

internas y externas, sino que también actúe como un agente configurador activo.

La flexibilidad del espacio es crucial para la supervivencia y eficiencia de estos sistemas, ya que limita y condiciona los flujos de energía, influyendo en cómo estos flujos interactúan y se distribuyen dentro del sistema. Esta dualidad de ser, tanto configurado como configurador, destaca la importancia del espacio en la continua adaptación y evolución de los sistemas complejos, desempeñando un papel fundamental en la determinación de cómo y por qué los sistemas se comportan y cambian de la manera en que lo hacen. Por ello, el espacio no solo es un escenario pasivo donde ocurren las interacciones, sino que influye activamente en cómo y por qué los sistemas se comportan y cambian de la manera en que lo hacen. La plasticidad espacial, por lo tanto, no es simplemente una cuestión de reorganización pasiva, sino una dinámica activa que contribuye significativamente a la forma y función del sistema en su conjunto.

Morfología estocástica

Este descriptor aborda la imprevisibilidad y el elemento de aleatoriedad en la organización espacial de los sistemas complejos. La morfología estocástica sugiere que los eventos espaciales no siempre siguen trayectorias lineales o predecibles, sino que están influenciados por factores aleatorios y probabilísticos. Dentro de este marco, las formas lineales, reticulares, arbóreas, topológicas, radiales y fractales representan distintas manifestaciones de cómo el espacio puede ser estructurado en sistemas complejos. De hecho, en el universo se presentan otras formas, como espirales, donuts, hexágonos, cilindros, pentágonos, entre otras. Estas formas y estructuras son ejemplos de cómo las leyes físicas, los principios matemáticos y los procesos biológicos interactúan para crear la compleja variedad de formas con particularidades distintas, que vemos en el universo.

Por otra parte, hay una vinculación estrecha entre estas formas y los flujos de energía, lo que demuestra cómo la naturaleza tiende a favorecer estructuras y formas que son óptimas para la transferencia, conservación y uso eficiente de la energía. Estas relaciones entre las formas estructurales y los flujos de energía subrayan cómo los principios de la termodinámica, la mecánica, la electromagnetismo y otras áreas de la física son fundamentales para entender y diseñar sistemas, tanto en la naturaleza como en el mundo creado por el ser humano. En definitiva, los flujos de energía en interacción generan las formas estructurales, pero las formas estructurales condicionan la dinámica de los flujos de energía, por ello, la relación es circular.

Formas estructurales

- **Lineales:** Los comportamientos lineales en sistemas complejos se refieren a estructuras o procesos que se desarrollan de manera unidimensional. Estas estructuras son caracterizadas por una progresión clara y directa de un punto a otro, como una línea recta.
- **Reticulares:** Las matrices reticulares se refieren a estructuras que se organizan en una forma de red o malla. Estas morfologías destacan la interconexión y distribución espacial dentro de un sistema, donde los nodos (puntos) están conectados por enlaces (líneas), formando una estructura entrelazada.
- **Arbóreos:** Las formas arbóreas se caracterizan por su estructura de ramificación, similar a la de un árbol. En estas estructuras, un punto central o raíz se bifurca en varias ramas, que a su vez pueden dividirse en más ramas, creando una estructura jerárquica y ramificada.
- **Topológicos:** Se refiere a cambios en la estructura espacial de un objeto o sistema que preservan ciertas propiedades fundamentales. En topología, una rama de las matemáticas, estas transformaciones permiten que un objeto se deforme de manera continua (como estiramiento o compresión) sin romperlo, o unir sus partes

separadas. La propiedad clave aquí, es que, a pesar de los cambios en la forma o tamaño, ciertas características del objeto permanecen inalteradas, como la conectividad y el número de agujeros.

- **Laminares:** es una forma estructural de múltiples capas conectadas, que permite integrar procesos simultáneos en distintos niveles, favoreciendo la adaptabilidad, la complejidad y la emergencia relacional.
- **Radiales:** Las arquitecturas radiales en sistemas complejos describen estructuras o procesos que se expanden de un punto central hacia afuera en múltiples direcciones, similar a los radios de una rueda y son características de sistemas donde un núcleo central irradia influencia o recibe inputs de múltiples fuentes y enfatizan la importancia del centro como un punto de control o coordinación desde el cual se extiende la actividad hacia afuera.
- **Fractales:** Los fractales son estructuras que exhiben formas repetitivas a diferentes escalas. Son únicos en su propiedad de autosemejanza, lo que significa que cada pequeña parte de un fractal se parece al todo. Esta característica de repetición a diferentes niveles de magnificación, revela una complejidad subyacente en lo que podría parecer una estructura simple.
- **Espirales:** Se trata de una particular forma caracterizada por su curva alrededor de un punto central y su expansión progresiva hacia adentro o hacia afuera. Presentes en galaxias como la Vía Láctea y en fenómenos meteorológicos como huracanes. Esta forma facilita la transferencia y el movimiento de la materia y la energía, a través de sistemas rotativos.
- **Toroides (Donuts):** Es una forma tridimensional con un agujero en el centro. Se observan en campos magnéticos, como los generados por la Tierra o en tokamaks diseñados para la fusión nuclear. Los toroides son óptimos para contener y dirigir flujos de energía de manera eficiente.

- **Hexágonos:** Forma de seis lados y seis ángulos iguales. El ejemplo más notable es la estructura de los panales de abejas, que maximiza el espacio de almacenamiento con la mínima cantidad de material y el formato hexagonal en la atmósfera de Saturno alrededor del polo norte. Estas formas ofrecen una combinación de resistencia estructural y eficiencia de espacio.
- **Cilindros:** Se trata de formas tridimensionales con dos bases circulares idénticas que se conectan por una superficie curva. Presentes en troncos de árboles, huesos largos en animales y en estructuras hechas por el hombre como tuberías y columnas. Los cilindros proporcionan resistencia y capacidad de soporte con un uso eficiente del material.
- **Pentágonos:** Las morfologías pentagonales refieren a estructuras que se articulan en torno a una forma geométrica de cinco lados. Aunque menos comunes en estructuras a gran escala, los pentágonos son fundamentales en la química, como en la estructura de algunos virus.⁸⁵

Descriptores temporales

Conectividad temporal

La conectividad, siendo un descriptor dual por naturaleza (conexión-desconexión), se refiere a la dinámica fluctuante de interacciones y sincronizaciones entre sus componentes a lo largo del tiempo. Este descriptor captura la forma en que los elementos del sistema se alinean y coordinan en ciertos momentos, mientras que en otros operan de manera independiente o en distintas escalas temporales. Este flujo, entre sincronización y autonomía, permite que el sistema mantenga un equilibrio entre coherencia y flexibilidad.

La alternancia entre momentos de alta conexión y momentos de desconexión es fundamental para que el sistema no solo responda de

⁸⁵ Desde las Ciencias de la Complejidad, incluyen como una cascada causal el efecto mariposa o dominó y, desde el Pensamiento Complejo, el bucle (recursivo).

manera conjunta ante eventos críticos, sino también permita que sus componentes actúen de forma autónoma cuando sea necesario, evitando la rigidez que podría comprometer su adaptabilidad. La conectividad temporal, por lo tanto, es crucial para la adaptabilidad y resiliencia del sistema, facilitando una coordinación efectiva en momentos clave, mientras que también asegura la independencia y la diversidad de los componentes para abordar la complejidad y evitar sobrecargas o interferencias.

Este flujo temporal asegura que el sistema no esté permanentemente sincronizado ni completamente desconectado, sino que fluctúe entre ambos estados, optimizando su capacidad para enfrentar desafíos y aprovechar oportunidades en diferentes situaciones y escalas temporales.

A continuación, describiremos los diferentes descriptores de complejidad en el macrosistema biológico.

CÓMPUTO

Dentro del contexto biológico, el cómputo se refiere al procesamiento de información y la toma de decisiones que ocurre a nivel celular y molecular. Este concepto abarca comportamientos esenciales para la generación y mantenimiento de la complejidad en sistemas biológicos, tales como la autocatálisis, el metabolismo y la comunicación celular.

Autocatálisis

La autocatálisis, como generadora de complejidad en sistemas biológicos, se refiere a un proceso químico en el cual un producto de una reacción actúa como catalizador para esa misma reacción, creando un ciclo de realimentación positiva. Este ciclo amplifica y diversifica las reacciones químicas dentro del sistema, lo que permite una mayor complejidad y adaptabilidad. La autocatálisis es fundamental para la emergencia de complejidad en los sistemas

biológicos, ya que facilita la autoorganización y la evolución de redes metabólicas interconectadas.

Metabolismo

El metabolismo permite convertir nutrientes en energía utilizable (ATP), que luego se usa para impulsar actividades celulares, incluida la señalización, la reparación y la reproducción. Es un conjunto complejo de reacciones químicas vitales para la vida, que se encarga de convertir los nutrientes en energía y bloques constructores para la célula y de eliminar los desechos metabólicos.

Desde la perspectiva del cómputo biológico, el metabolismo puede entenderse como una red autocatalítica interconectada y regulada de manera precisa, proporcionando al sistema los recursos y la energía que necesita para mantener su funcionamiento, por ejemplo, para el crecimiento, la reparación y la reproducción celulares.

Comunicación celular

En la comunicación celular, las células no sólo realizan procesos metabólicos internamente, sino que también intercambian información con otras células y responden a señales de otros sistemas. Este intercambio de información es fundamental para la coordinación de actividades celulares en tejidos y órganos y asegura el funcionamiento cohesivo de los organismos multicelulares. La comunicación celular es fundamental para la coordinación de actividades celulares en tejidos y órganos, permitiendo a los organismos multicelulares funcionar de manera cohesiva. Este proceso implica una variedad de señales moleculares, receptores y vías de señalización, que pueden considerarse como sistemas de "cómputo biológico", donde la información se procesa y se traduce en respuestas celulares específicas.

MAPEO

El mapeo en el macrosistema biológico incluye comportamientos como la morfogénesis y la plasticidad, que son procesos cruciales para comprender cómo los sistemas se desarrollan y responden a diversas situaciones.

Morfogénesis

La morfogénesis se refiere al proceso biológico que determina la forma y estructura de organismos y estructuras biológicas. Este proceso es un descriptor clave de la complejidad biológica porque involucra la interacción de múltiples factores, como pueden ser genéticos y químicos, que trabajan en conjunto para organizar y dar forma a los tejidos y órganos, desde el nivel celular hasta el nivel de organismos completos. La morfogénesis no solo define las formas iniciales durante el desarrollo, sino que también permite que las estructuras biológicas mantengan su integridad estructural a pesar de las influencias de otros sistemas. Es, por lo tanto, esencial para entender cómo los organismos vivos logran la estabilidad de sus formas, incluso cuando están en constante interacción con situaciones cambiantes.

Plasticidad

La plasticidad, en el contexto de la morfología estructural, se refiere a la capacidad de los organismos para alterar su forma, estructura o expresión fenotípica en respuesta a cambios en las condiciones internas o externas en la interacción con otros sistemas de contacto. Se producen cambios en la morfología durante las etapas de crecimiento y desarrollo de un organismo, en la capacidad de un genotipo para producir diferentes fenotipos y en animales, especialmente en seres humanos, la plasticidad neural refiere a la capacidad del cerebro para reorganizarse en respuesta a la

experiencia, el aprendizaje o el daño, lo que es fundamental para el aprendizaje, la memoria y la recuperación de lesiones.

CRONOMETRAJE

El cronometraje en los sistemas biológicos abarca la sincronización de comportamientos clave, como la evolución adaptativa y la colaboración, ambos fundamentales para la dinámica de los sistemas complejos vivos. Estos comportamientos reflejan cómo los seres vivos ajustan sus actividades y respuestas en el tiempo, en función de los desafíos y oportunidades que presentan sus entornos cambiantes.

Evolución adaptativa

La evolución adaptativa es la capacidad de los sistemas complejos para interactuar con sistemas de contacto y ajustarse a lo largo del tiempo. Esta capacidad implica que los sistemas no son meros receptores pasivos de flujos energéticos, sino entidades dinámicas que activamente modulan y adaptan su uso y respuesta a la energía, en función de los cambios externos e internos. La evolución adaptativa se refiere al proceso por el cual los organismos se adaptan a los otros sistemas a lo largo de generaciones, a través de cambios en sus características genéticas.

Este proceso es esencial para la supervivencia y la reproducción en un entresistema cambiante y está intrínsecamente ligado al cronometraje, ya que la evolución permite a las especies desarrollar respuestas adaptativas a los ciclos estacionales, los cambios climáticos y otros eventos temporales. Además, moldea los ciclos de vida de los organismos, incluyendo sus ritmos reproductivos y de crecimiento, para que coincidan óptimamente con las oportunidades y desafíos temporales en la convivencia con otros sistemas.

Esta adaptabilidad es una serie continua de ajustes y optimizaciones, lo que permite a estos sistemas no solo sobrevivir,

sino también prosperar en condiciones cambiantes. La evolución adaptativa es, por tanto, una interacción dinámica entre el sistema y sus sistemas de contacto, donde la adaptación no es solo una reacción, sino una evolución proactiva, permitiendo una evolución continua que está en sintonía con las demandas y desafíos cambiantes de la realidad.

Colaboración

El comportamiento colaborativo enfatiza un nivel más organizado y adaptable de interacción, donde la integración de roles diversos y la adaptación dinámica de estrategias contribuyen a la solución de problemas complejos y a la innovación dentro del sistema. La colaboración permite a los organismos aumentar su aptitud biológica y mejorar sus probabilidades de supervivencia al trabajar juntos de manera coordinada.

La colaboración puede ser dentro de la misma especie, como en la caza cooperativa entre lobos o entre diferentes especies, como en la relación simbiótica entre las flores y sus polinizadores. En el contexto del cronometraje, la colaboración destacaría cómo las entidades biológicas sincronizan sus actividades de manera que beneficie a todos los participantes, como en los ciclos de alimentación y sueño en animales sociales, o en la sincronización de la floración en plantas.

CAPÍTULO OCHO

LOS MICROSISTEMAS, SISTEMAS Y SUBSISTEMAS

SISTEMAS DENTRO DEL MACROSISTEMA MICROPARTÍCULAS

Para el Saber Supercomplejo (SSC), los sistemas de micro-partículas se pueden clasificar y dividir en sistemas fermiones y bosones, basándose en cómo circulan los flujos de energía y cómo interactúan con la morfología estructural. Esta división se fundamenta en los principios de la física cuántica y la física de partículas.

Los fermiones incluyen electrones, protones, neutrones y quarks. Lo distintivo de los fermiones es que obedecen al Principio de Exclusión de Pauli, que establece que dos fermiones idénticos no pueden ocupar el mismo estado cuántico al mismo tiempo. Esto tiene implicaciones profundas en cómo circulan los flujos de energía y cómo se estructuran a nivel microscópico, afectando la morfología de la materia a escalas atómicas y moleculares. La complejidad en sistemas fermiónicos se manifiesta en la diversidad de elementos químicos y en las complejas interacciones electrónicas que determinan la conductividad, magnetismo y otras propiedades materiales.

Los bosones, en cambio, son partículas que actúan como portadoras de fuerzas y permiten la interacción entre fermiones. Incluyen fotones (luz y otras radiaciones electromagnéticas), gluones (responsables de la fuerza nuclear fuerte) y el bosón de Higgs (asociado con el campo de Higgs y la masa de las partículas). A diferencia de los fermiones, los bosones pueden ocupar el mismo estado cuántico, lo cual permite fenómenos como la condensación de Bose-Einstein, donde múltiples bosones ocupan el mismo estado,

llevando a comportamientos macroscópicos distintos, como la superfluidez y la superconductividad⁸⁶.

Los sistemas fermiónicos presentan complejidad en la organización estructural y en las restricciones impuestas por el Principio de Exclusión de Pauli, lo que lleva a una rica variedad de fenómenos físicos y químicos. Por otro lado, los sistemas bosónicos muestran complejidad en su capacidad para formar estados coherentes y macroscópicos, lo que también conduce a fenómenos únicos y aplicaciones tecnológicas. Cada uno presenta desafíos y fenómenos complejos únicos en sus respectivos dominios.

El siguiente cuadro de doble entrada muestra las diferencias de complejidad entre bosones y fermiones, destacando cómo cada tipo de partícula contribuye a fenómenos complejos en sus respectivos dominios.

Cuadro Comparativo de Complejidad entre Fermiones y Bosones

ASPECTO	FERMIONES	BOSONES
Definición	Partículas que constituyen la materia como electrones, protones, neutrones y quarks.	Partículas que transmiten las fuerzas fundamentales, como fotones, gluones, bosones W y Z y el bosón de Higgs.
Principio fundamental	Siguen el Principio de Exclusión de Pauli: dos fermiones	No están sujetos al Principio de Exclusión de Pauli:

⁸⁶ Esta división y comprensión de los sistemas de micropartículas son fundamentales en campos como la física de materiales, la nanotecnología y la física de partículas y tienen aplicaciones prácticas en tecnología, medicina y otros campos científicos y de ingeniería.

	idénticos no pueden ocupar el mismo estado cuántico simultáneamente.	múltiples bosones pueden ocupar el mismo estado cuántico.
Efectos en la Morfología Estructural	La exclusión mutua genera estructuras organizadas y niveles de complejidad en átomos y moléculas afectando la estructura electrónica y las propiedades químicas.	La capacidad de ocupar el mismo estado permite estados coherentes y fenómenos macroscópicos únicos, como condensados de Bose-Einstein.
Complejidad en Flujos de Energía	Las restricciones en la ocupación de estados energéticos generan niveles discretos y complejas interacciones electrónicas.	Los bosones pueden condensarse en el estado de menor energía, facilitando flujos de energía coherentes y fenómenos como la superconductividad.
Contribución a la Complejidad Macroscópica	La organización de fermiones es responsable de la diversidad de materiales y las propiedades físicas	La agregación de bosones en estados coherentes crea fenómenos que desafiaban la intuición clásica y

	observadas en la naturaleza.	abre puertas a nuevas fases de la materia.
Interacciones Fundamentales	Participan en interacciones fuertes y débiles y son afectados por fuerzas electromagnéticas y gravitatorias	Medían fuerzas fundamentales (electromagnética, nuclear fuerte y débil) y permiten la interacción entre fermiones.

Este cuadro refleja cómo los fermiones y bosones contribuyen de manera diferente a la complejidad en los sistemas de micropartículas, alineándose con los principios del SSC. Al resaltar las diferencias en cómo circulan los flujos de energía y cómo interactúan con la morfología estructural, se evidencia la importancia de estas partículas en la formación y evolución de sistemas complejos. En tal sentido, no sería preciso afirmar que un sistema es más complejo que el otro; más bien, ambos tipos de partículas aportan complejidades distintas y complementarias al universo. Mientras los fermiones forman la "arquitectura" de la materia, los bosones son responsables de las "interacciones" que mantienen y transforman esa arquitectura. El SSC enfatiza la interrelación dinámica y estocástica entre estos componentes fundamentales.

SISTEMAS DENTRO DEL MACROSISTEMA MACROSCÓPICO

En lo que respecta al macrosistema macroscópico, los sistemas son:

1. **Galácticos:** Sistemas que incluyen galaxias enteras, sus estructuras y dinámicas, así como los fenómenos que ocurren dentro de ellas, como la formación de estrellas y la interacción entre galaxias.
2. **Estelares:** Involucran las estrellas y sus ciclos de vida, desde su formación en nebulosas hasta sus fases finales como enanas blancas, estrellas de neutrones o agujeros negros, incluyendo también sistemas estelares múltiples.
3. **Sistémicos Solares (Planetarios):** Se centran en sistemas planetarios, como nuestro Sistema Solar e incluyen el Sol (o estrella central), los planetas y sus lunas, asteroides, cometas y otros cuerpos menores, así como la dinámica entre estos cuerpos.
4. **Planetarios Individuales:** Involucran planetas específicos, tanto en nuestro sistema solar como exoplanetas en otros sistemas estelares y sus características como geología, atmósfera, magnetosfera y posibles biosferas.
5. **Satelitales:** Se refieren a cuerpos que orbitan alrededor de planetas (naturales o artificiales), incluyendo lunas, satélites artificiales y escombros orbitales.
6. **Terrestres (Geológicos):** Abarcan fenómenos y características de la Tierra, incluyendo su geología, tectónica de placas, vulcanismo y formación de montañas.
7. **Hídricos (Hidrológicos):** Se refieren a los cuerpos de agua y sistemas acuáticos, como océanos, mares, lagos, ríos y acuíferos, incluyendo la dinámica del agua, ciclos hidrológicos y procesos oceanográficos.
8. **Atmosféricos-Aéreos:** Incluyen la atmósfera y los fenómenos meteorológicos y climáticos que ocurren dentro de ella, como vientos,

precipitaciones, tormentas y comportamientos climáticos a largo plazo.

9. Químicos (Compuestos Químicos Macroscópicos): Incluyen sustancias y compuestos químicos en cantidades macroscópicas, abarcando materiales y sustancias puras, mezclas, soluciones y sus interacciones en reacciones químicas visibles a escala humana. Esto también involucra procesos como corrosión, combustión y síntesis de nuevos materiales.

10. Moleculares y Atómicos Macroscópicos: Aunque a nivel individual son microscópicos, los efectos colectivos de las moléculas y átomos se manifiestan en fenómenos macroscópicos. Esto incluye estados de la materia (sólido, líquido, gas), transiciones de fase, propiedades materiales derivadas de la disposición atómica y molecular, como la cristalización y conductividad eléctrica.⁸⁷

Cada sistema macroscópico tiene una estructura específica que puede cambiar con el tiempo debido a los flujos de energía y a las interacciones con otros sistemas. Además, las estructuras pueden ser físicas (como la formación de montañas), químicas (como la cristalización) o astronómicas (como la formación de galaxias).

SISTEMAS DENTRO DEL MACROSISTEMA BIOLÓGICO

Para el SSC, dentro del macrosistema biológico pueden identificarse dos grandes microsistemas:

- **Microsistema vegetal**
- **Microsistema animal**

A partir de esta clasificación, surgen dos interrogantes:

⁸⁷ Se pueden considerar diferentes perspectivas sobre dónde trazar la línea entre lo macroscópico y lo microscópico, especialmente en el contexto de la física moderna, donde la distinción entre los dos puede volverse borrosa. Si consideramos los átomos como parte del sistema macroscópico, lo hacemos reconociendo que, aunque individualmente son entidades microscópicas, los efectos colectivos y las propiedades emergentes de los átomos son fundamentales para la constitución y el comportamiento de los sistemas macroscópicos.

1. ¿Por qué no incluir un microsistema humano?
2. ¿Por qué no agregar un microsistema ciberinteligente que abarque máquinas con inteligencia artificial?

En primer lugar, la elección de estos dos microsistemas responde a un criterio funcional, basado en las modalidades de complejidad. En segundo lugar, el ser humano no se considera un microsistema independiente dentro del macrosistema biológico porque, aunque presenta niveles de complejidad y sofisticación superiores a otros animales, su modalidad de complejidad no es cualitativamente distinta. La capacidad de metaobservación, la construcción de cultura y la tecnoingeniería son expresiones avanzadas de procesos ya presentes en otros organismos, no una ruptura con ellos.

Desde esta perspectiva, el SSC reconoce la singularidad humana sin aislarla del entramado evolutivo de los sistemas vivos. Se mantiene la continuidad entre todos los sistemas biológicos en términos de sus flujos de energía, morfología estructural y conectividad temporal.

En tercer lugar, un posible microsistema ciberinteligente no podría considerarse completamente autónomo, aunque pueda alcanzar niveles avanzados de independencia operativa. El SSC anticipa que la inteligencia artificial y la robótica evolucionarán hasta convertirse en sistemas altamente independientes en términos relacionales, pero nunca serán sistemas autónomos absolutos, ya que siempre estarán insertos en redes de interdependencia con otros sistemas complejos.

El desafío futuro del SSC será describir los distintos grados de independencia relacional y establecer criterios para evaluar en qué medida un sistema ciberinteligente ha alcanzado un nivel significativo de agencia dentro de la red de sistemas supercomplejos.

Volviendo a nuestros microsistemas (vegetal y animal), cada uno de estos microsistemas tiene su propia dinámica, morfología y

organización, lo que determina diferencias en sus niveles de complejidad.⁸⁸

El microsistema vegetal se configura en torno a una relación energética directa con la luz solar, estableciendo una red de interacciones químicas y físicas con su entorno en la que la absorción de dióxido de carbono, la captación de agua y nutrientes del suelo y la síntesis de materia orgánica a través de la fotosíntesis constituyen los ejes fundamentales de su funcionamiento. Su morfología es capaz de replicarse y extenderse sin depender de un centro de comando, permitiendo la regeneración y la perpetuación del organismo en función de la interacción con otros sistemas. Su conectividad temporal está determinada por ciclos circadianos y estacionales que regulan su crecimiento, floración, fructificación y latencia, haciendo que su interacción con los otros sistemas responda a comportamientos prolongados y predecibles en términos de variabilidad energética y estructural. Su comunicación se establece a través de señales químicas y eléctricas que pueden propagarse por la planta misma o por redes subterráneas compartidas con otras especies, permitiendo la transmisión de información sobre estrés hídrico, ataque de herbívoros o cambios en la disponibilidad de recursos sin que haya una manifestación consciente o intencional de estas interacciones.

El microsistema animal, en contraste, se organiza en torno a una relación energética indirecta que depende de la ingesta y transformación de materia orgánica proveniente de otros seres vivos,

⁸⁸ Aunque los hongos y microorganismos presentan características diferenciadas, no constituyen una modalidad de complejidad enteramente distinta a la de los microsistemas vegetal y animal. Los hongos, al formar redes simbióticas con las plantas y desempeñar roles clave en los ecosistemas vegetales, pueden entenderse como un subsistema del microsistema vegetal. Por otro lado, los microorganismos abarcan una gran diversidad funcional, con especies que interactúan tanto con el microsistema vegetal (ej. cianobacterias) como con el animal (ej. microbiota intestinal). Desde esta perspectiva, en lugar de definir un microsistema separado, el SSC considera más adecuado analizar a estos organismos en función de sus interacciones dentro de los sistemas existentes, evitando fragmentaciones innecesarias y resaltando la interdependencia como principio clave de la complejidad biológica.

lo que implica una mayor necesidad de movilidad y exploración. Su estructura morfológica es más dinámica y adaptativa, permitiendo la especialización de órganos y funciones a través del desarrollo de sistemas nerviosos, musculares y esqueléticos que optimizan la captura de recursos, la defensa y la reproducción. La conectividad temporal en los organismos animales es más flexible y sujeta a procesos de aprendizaje y adaptación, con una mayor capacidad de respuesta a estímulos inmediatos, lo que les permite modificar sus comportamientos en función de la experiencia y la memoria. Su comunicación se diversifica enormemente, incorporando no solo señales químicas y eléctricas, sino también expresiones gestuales, sonoras y, en algunas especies, estructuras lingüísticas complejas capaces de transmitir información simbólica sobre eventos pasados, intenciones futuras y configuraciones sociales específicas.

Desde el SSC, la diferencia de complejidad entre ambos microsistemas radica en la variabilidad de sus flujos de energía, en la flexibilidad de sus morfologías estructurales y en la diversidad de sus conectividades temporales. El microsistema vegetal presenta una mayor estabilidad en sus intercambios energéticos al depender de una fuente constante como la luz solar, lo que genera una morfología con comportamientos más homogéneos y una conectividad temporal regulada por ritmos predecibles. En los vegetales la complejidad surge de la interconexión modular y la optimización de flujos energéticos de largo plazo.

El microsistema animal, en cambio, está sujeto a variaciones más abruptas en la disponibilidad de recursos, lo que favorece el desarrollo de estructuras más dinámicas y flexibles con una mayor dependencia del cómputo, el mapeo y el cronometraje. En los animales la complejidad se incrementa a través de la capacidad de toma

de decisiones, la variabilidad conductual y la construcción de relaciones sociales con grados crecientes de abstracción y simbolización.⁸⁹

Por su parte, en el microsistema animal, consideramos que es factible identificar los siguientes sistemas:

- sistema yo-autoconsciente;
- sistema socio-relacional;
- sistema mental de organización de comportamientos y productos intangibles;
- sistema simbólico;
- sistema tecnológico

Subsistemas tecnológicos:

- a) tecnoingenieriles
- b) ciberanalógicos

Sistema yo-autoconsciente

Este sistema está relacionado con la autopercepción, la autorreflexión, la autoconciencia y la introspección. Para el SSC, este reconocimiento del "yo" como entidad separada es lo que fundamenta la capacidad de autogestión y de desarrollo cognitivo, emocional y social, lo que convierte al sistema yo-autoconsciente en el punto de partida para la comprensión de otros procesos biológicos complejos. Abarca productos como los sueños, ideas, deseos, autocontrol, autoconcepto y la metacognición. Se construye a partir de la emergencia de la autoconciencia, que surge de la síntesis y la interpenetración entre los fenómenos internos (pensamientos, emociones, percepciones) y los estímulos provenientes de los sistemas externos.

Esta dicotomía temporal entre lo interno y lo externo permite, a los humanos (y a algunos animales en menor medida), percibir la

⁸⁹ En todo el desarrollo iremos mostrando las particulares características y diferencias del comportamiento humano en relación al resto de los animales, resaltando las diferencias de complejidad que el mismo implica y conlleva.

realidad material fuera del cuerpo, lo que lleva al reconocimiento de sí mismo como entidad separada de los otros sistemas y de otros individuos, más allá que dicha separación no debe soslayar la imbricación entre sistemas.

La conciencia de nosotros mismos, o autoconciencia, nos permite ver nuestro cuerpo como una entidad propia y distinta de los demás sistemas. Este sistema ha sido y sigue siendo estudiado por diversas disciplinas como la psicología, la filosofía y las neurociencias, que exploran temas como la formación de una identidad autoconsciente unitaria.⁹⁰

La piel actúa como la barrera física más inmediata que define la individualidad. Es el contenedor del cuerpo y el primer punto de contacto con el mundo exterior. Este límite físico también tiene un componente psicológico y simbólico, ya que representa el primer nivel de conciencia de uno mismo como un ente separado del entorno.

Varios animales, además de los humanos, muestran capacidades que sugieren una funcionalidad compleja similar en términos de autoconciencia. Algunos de los más destacados incluyen:

- 1. Grandes simios** (chimpancés, bonobos, gorilas y orangutanes): Estos primates muestran una notable memoria a largo plazo, atención dirigida y pueden planificar para el futuro, como usar herramientas de manera anticipada.
- 2. Delfines:** Conocidos por su inteligencia, los delfines pueden recordar eventos pasados, prestar atención a tareas complejas y demostrar comportamientos que sugieren planificación y juego imaginativo.
- 3. Elefantes:** Tienen una memoria excepcional, son capaces de recordar rutas de agua durante años y mostrar atención y cuidado en

⁹⁰ Las neurociencias aportan una perspectiva adicional, investigando los correlatos neuronales de la conciencia y cómo el cerebro construye la experiencia del yo y la percepción del cuerpo. Investigaciones en este campo han identificado áreas y redes cerebrales específicas que contribuyen a la conciencia corporal, como la ínsula y la corteza somatosensorial, que son fundamentales para procesar la información sensorial y la percepción del cuerpo.

sus interacciones sociales. También muestran signos de duelo y otros comportamientos complejos.

4. Cuervos y otros córvidos: Estos pájaros son conocidos por su capacidad de resolver problemas, usar herramientas, recordar lugares donde han almacenado alimentos y demostrar comportamientos que sugieren una forma de planificación futura.

5. Pulpos: Aunque son invertebrados, los pulpos tienen un alto grado de inteligencia, pueden aprender y recordar cómo resolver laberintos y problemas y han mostrado signos de comportamiento lúdico, lo que sugiere una forma de imaginación.

Estos animales demuestran que la complejidad funcional en términos de recuerdo, atención e imaginación no es exclusiva de los humanos y que otros seres también poseen capacidades cognitivas avanzadas.

Profundizando un poco más, este sistema se construye sobre la emergencia de la autoconciencia, derivada de la síntesis entre los fenómenos internos -pensamientos, emociones, percepciones- y los estímulos provenientes de los sistemas de contacto (externos). Esta dicotomización de la realidad nos permite a los humanos (y algunos animales, en menor medida) el reconocimiento entitativo propio, distinto de los sistemas adyacentes y de otros individuos, que funciona como límite de la subjetividad y, al mismo tiempo, advertir la presencia de otros sistemas por fuera de la propia corporeidad. Esto sugiere que la conciencia, o la percepción consciente de sí mismo, permite reconocer el cuerpo como una entidad separada de los demás sistemas, estableciendo una distinción entre "yo" y "otro".

El recuerdo, la atención y la imaginación son tres actividades fundamentales que implican el cronometraje y la conectividad temporal en los sistemas biológicos, especialmente en aquellos con un yo autoconsciente. Estas actividades permiten a los individuos no solo mantener una coherencia temporal en su experiencia y acciones, sino también integrar y manipular información de diferentes

momentos, facilitando una mayor complejidad en la interacción con otros sistemas y en la autorreflexión.

El recuerdo está vinculado al pasado, permitiendo revivir experiencias y aprendizajes previos; la atención se centra en el presente, facilitando la percepción y respuesta a estímulos actuales; y la imaginación se proyecta hacia el futuro, permitiendo anticipar escenarios y planificar acciones. Estos procesos temporales se interrelacionan y son esenciales para la coherencia y la funcionalidad del yo autoconsciente.

La memoria, que nos permite codificar, almacenar y recuperar la información que captamos de nuestro entorno y que guardamos en las llamadas “memorias multialmacén” (memoria sensorial, a corto plazo y a largo plazo) está vinculado al pasado, permitiendo revivir experiencias y aprendizajes previos; la atención se centra en el presente y está estrechamente relacionada con la percepción al estar determinada por factores extrínsecos (externos) e intrínsecos (internos), como respuesta a estímulos actuales, la misma además se puede clasificar según mecanismos implicados en atención selectiva, dividida y sostenida; y la imaginación se proyecta hacia el futuro, permitiendo anticipar escenarios y planificar acciones. Estos procesos temporales se interrelacionan y son esenciales para la coherencia y la funcionalidad del yo autoconsciente.

Desde nuestra perspectiva, la configuración del sistema yo-autoconsciente es performativa. Es decir, la autoconciencia emerge de la retroalimentación energética entre procesos internos y estímulos externos, influenciada tanto por la presencia de neurotransmisores como por la capacidad de la voluntad para modificar el resultado natural de esos vínculos. Esta dinámica determina nuestra forma de relacionarnos con los sistemas de contacto, en interacciones

intrincadas y modeladas por mandatos sociales, normas de conducta, costumbres y otras restricciones sistémicas.⁹¹

Precisamente allí nace la complejidad de este sistema; la inmensa cantidad de sistemas de contacto, con sus respectivos flujos energéticos, influyen positiva y/o negativamente al yo-autoconsciente. En el marco de estas interacciones nacen: deseos, propósitos, aspiraciones, creencias, valores, temores, sueños, autoestima, autocontrol, autoconcepto y la metacognición.

En el ámbito del yo consciente y racional, los "flujos de energía" pueden entenderse como las diversas fuerzas motivacionales y procesos cognitivos que impulsan la realización de metas personales, aspiraciones y objetivos a largo plazo; la regulación emocional de acuerdo con las situaciones y normas sociales; la cognición y la conducta; la resolución de problemas y la toma de decisiones basadas en la lógica y la evidencia; la capacidad de ponerse en el lugar de otro; la autoevaluación y el cuestionamiento consciente de las propias creencias y actitudes. De manera más específica: engañar o utilizar tácticas engañosas de manera intencional; practicar el autocontrol para recibir una mejor recompensa; autoevaluar la posición en el orden jerárquico; demostrar vergüenza, culpa u orgullo y la utilización de estrategias de manipulación. Estos comportamientos reflejan un nivel avanzado de reflexión interna y reconocimiento de la propia existencia y estado mental.

Por otra parte, el cerebro utiliza efectivamente contenidos ancestrales como parte de su cómputo. Estos contenidos, que incluyen

⁹¹ ¿Qué pasa con los comportamientos denominados inconscientes? Nuestra perspectiva de la complejidad es operativa y funcional y, en tal sentido, entendemos que si se pueden dissociar y desagregar de otros comportamientos y los mismos intervienen como parte de los flujos de energía de un sistema complejo, pueden ser tenidos en cuenta. Sin embargo, conceptos como los de represión, falta, libido, pulsión, entre muchos otros, necesitan ser operativizados, es decir, que sean susceptibles de ser utilizados en una descripción, en una modelización mostrando cómo afectan a la dinámica de un sistema complejo. Se trata de que estas variables, eventualmente, puedan combinarse con otras. En tal sentido, entendemos que no es posible reducir complejas conductas y experiencias humanas a unas pocas causas subyacentes, como los deseos sexuales o la estructura del lenguaje.

reflejos, instintos y predisposiciones genéticas, son parte de un reservorio de memoria biológica que se ha desarrollado a lo largo de la evolución. Desde la perspectiva del SSC, estos mecanismos pueden entenderse como cómputo optimizado de flujos de energía, mapeo estructural de rutas críticas y cronometraje preciso para la supervivencia y la adaptación. Esto muestra cómo los conceptos del SSC pueden aplicarse a la comprensión profunda de cómo el cerebro y el sistema nervioso gestionan tanto la información heredada como las respuestas adaptativas automáticas.⁹²

Los contenidos congénitos, también conocidos como “equipaje del recién nacido” han sido ampliamente documentados y respaldados por estudios científicos en diversos campos, como las neurociencias, la genética del comportamiento, la biología evolutiva y la psicología cognitiva. Esto muestra cómo los conceptos del SSC pueden aplicarse a la comprensión profunda de cómo el cerebro y la mente gestionan tanto la información congénita como las respuestas adaptativas automáticas (reflejos). Aquí algunos ejemplos de cómo se han comprobado estos contenidos:

- **Reflejos Innatos:** Reflejos como el reflejo de succión en los recién nacidos, el reflejo de Moro (reacción al sobresalto), el reflejo de prensión palmar y plantar son respuestas automáticas que han sido observadas y documentadas en todos los seres humanos y en otras especies. Estos reflejos son respuestas evolutivamente adaptativas y están genéticamente programadas en el sistema nervioso.
- **Instintos, emociones y comportamientos inherentes:** Comportamientos como el miedo a los depredadores, la búsqueda de refugio y la atracción por ciertos estímulos están bien documentados en una variedad de especies, incluidos los humanos. Por ejemplo, el miedo a las serpientes o a las alturas se ha demostrado incluso en bebés y otros primates que no han tenido experiencia previa con esos

⁹² Entre las distintas perspectivas psicológicas, los mismos reciben el nombre de Inconsciente colectivo (psicoanálisis), reflejos o respuestas adaptativas (conductismo y cognitivism).

estímulos, sugiriendo una base evolutiva y genética para estas respuestas.

- **Predisposiciones Genéticas y Tendencias Comportamentales:** Estudios en genética del comportamiento han demostrado que ciertos rasgos, como la timidez o la audacia, pueden ser heredados y están influenciados por cuestiones biológicas hereditarias. Experimentos en ratones, por ejemplo, han demostrado que ciertas líneas genéticas tienen predisposiciones a comportamientos más exploratorios o más reservados, lo que se traduce a diferentes respuestas ante entornos nuevos o peligrosos.
- **Mecanismos de Aprendizaje Rápido y Fobias:** Las fobias específicas en los humanos, como el miedo a las alturas (acrofobia) o a las serpientes (ofidiofobia), se consideran ejemplos de aprendizaje rápido o predisposiciones biológicas que tienen bases evolutivas. Este fenómeno se estudia en psicología evolutiva y neurociencias, mostrando que el cerebro está preparado para adquirir ciertos miedos con menos experiencia debido a su importancia para la supervivencia.

Los reflejos innatos, los comportamientos instintivos y las predisposiciones genéticas pueden ser observados, medidos y estudiados en diferentes especies, incluyendo a los humanos, lo que les otorga un nivel de falsabilidad y validación científica.

Por otra parte, cuando los sujetos sienten que sus elecciones o acciones están siendo coartadas o dirigidas por otros, esto puede llevar a una sensación de pérdida de autonomía y autenticidad, lo que, a su vez, puede reducir su energía vital y entusiasmo por la vida. Promover entresistemas que respeten la autonomía y fomenten interacciones positivas y de apoyo, puede ayudar a preservar y potenciar la energía del yo consciente. En definitiva, la consecuencia de la configuración de este sistema, es la aptitud para reflexionar sobre la propia existencia, con todas sus aristas. Desde este punto de partida y en paralelo a la creación de los denominados “mapas

mentales”, los sujetos proceden a la toma de decisiones y a las operaciones biológicas básicas: cómputo, mapeo y cronometraje.

Nos detenemos a puntualizar algunas características de este sistema:

- El sistema yo-autoconsciente está sostenido por la actividad de redes neuronales específicas, como el circuito prefrontal-dorsolateral, que juega un papel crucial en la toma de decisiones y en la regulación de la conducta. La neurogénesis, la plasticidad neuronal, o la capacidad de las conexiones neuronales para adaptarse a nuevas experiencias, así como también las neuronas espejo y la reserva cognitiva (tolerancia cognitiva frente a cambios cerebrales fisiológicos) permiten que el yo-autoconsciente se refine y se modifique en respuesta a los estímulos de otros sistemas de contacto.
- Dentro del SSC, se admite la existencia del inconsciente y su influencia en el pensamiento, las emociones y el comportamiento, en consonancia con evidencias provenientes de las neurociencias y de múltiples tradiciones psicológicas.⁹³ Sin embargo, el SSC no otorga al inconsciente un rol central o dominante en la arquitectura del sujeto, a diferencia de modelos como el psicoanálisis clásico, que lo considera una instancia organizadora primaria. En cambio, el SSC lo conceptualiza como un sistema basal y primitivo en términos de agencia y direccionamiento, caracterizado por un flujo de actividad neural automática que puede generar respuestas intensas e impredecibles, especialmente en contextos emocionales o de estrés, como muestran estudios sobre la activación de la amígdala. Sus operaciones pueden ser resignificadas, modeladas y superadas a partir del fortalecimiento del pensamiento consciente, la construcción de sentido y la sinergia afectiva relacional. Así, el SSC permite

⁹³ Esta perspectiva se apoya en investigaciones que demuestran cómo procesos automáticos, como los sesgos cognitivos o las respuestas emocionales, operan fuera de la conciencia (Kahneman, Daniel. *Thinking, Fast and Slow*. Farrar, Straus and Giroux, 2011; Dehaene, Stanislas. *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts*. Viking, 2014).

integrar sus efectos sin caer en una psicología de lo oculto ni en una antropología de la determinación.⁹⁴

- La autoconciencia también depende de la interacción con otros sistemas. En la teoría de la cognición encarnada, el cuerpo y las experiencias sensoriales influyen en la forma en que percibimos y organizamos nuestra identidad. Esto conecta estrechamente al yo-autoconsciente con sistemas más amplios, como los sistemas socio-relacionales.
- El sistema yo-autoconsciente opera bajo principios de sistemas dinámicos, donde las fluctuaciones internas (emociones, pensamientos) interactúan de manera no lineal con estímulos externos, lo que da lugar a un sistema adaptable pero impredecible. Esta multicausalidad refleja la complejidad de las decisiones humanas y la manera en que el sujeto navega entre la racionalidad y la emocionalidad.
- El desarrollo del sistema yo-autoconsciente también está influenciado por factores genéticos y epigenéticos. La activación o inhibición de ciertos genes, en respuesta a experiencias o estímulos externos, puede modificar la estructura cerebral y, en consecuencia, la forma en que el sujeto experimenta su autoconciencia y toma de decisiones.
- La regulación emocional, que incluye la capacidad de manejar las emociones en función de las situaciones y normas sociales, es fundamental para la toma de decisiones racionales. Esta interacción entre emoción y razón es clave en la configuración del sistema yo-

⁹⁴ En mamíferos, el inconsciente se manifiesta como un conjunto de redes neurales automáticas, subyacentes a instintos, hábitos, reacciones emocionales y disposiciones internas, que no siempre están activas pero son profundamente influyentes cuando se desencadenan. Investigaciones sobre sistemas emocionales básicos en mamíferos, como el miedo o la búsqueda, respaldan esta visión, mostrando cómo circuitos subcorticales operan de manera automática (Panksepp, Jaak. *Affective Neuroscience: The Foundations of Human and Animal Emotions*. Oxford University Press, 1998). La plasticidad de estas redes en mamíferos, evidenciada en estudios de aprendizaje y condicionamiento, sugiere que incluso en animales los patrones inconscientes pueden modificarse, aunque en menor grado que en humanos (Kandel, Eric R. "The Molecular Biology of Memory Storage: A Dialogue Between Genes and Synapses." *Science*, vol. 294, no. 5544, 2001, pp. 1030-1038).

autoconsciente, donde las respuestas emocionales influyen directamente en los comportamientos y las percepciones.

- El sistema yo-autoconsciente no opera de manera aislada. Su interacción con el sistema socio-relacional y el sistema simbólico, por ejemplo, permite que la autoconciencia sea modelada no solo por fenómenos internos, sino también por símbolos y normas sociales que influyen en la identidad y el comportamiento del sujeto.

Resaltamos que el SSC aporta un enfoque activo de la autoconciencia. No se trata solo de un reconocimiento pasivo del "yo", sino de una capacidad para modificar activamente las relaciones con otros sistemas a través del cómputo optimizado de flujos energéticos y la toma de decisiones informada por la conectividad temporal y el mapeo estructural. Este marco ofrece una mayor integración entre la autogestión, la regulación emocional y los mecanismos de adaptación, resaltando cómo el yo-autoconsciente no solo responde a los demás sistemas, sino que los transforma.

La autoconciencia humana permite a los individuos comprender su multidimensionalidad y multifrontalidad. Para navegar en este escenario, deben procesar grandes volúmenes de información en tiempo real. Cada par dicotómico -como creencias y hechos, deseos y posibilidades, tradición y ruptura- introduce múltiples entradas de información que deben ser analizadas y ponderadas según su relevancia, urgencia y viabilidad.

Nos hemos preguntado si esta función autoconsciente ameritaba una demarcación propia como microsistema humano. Creemos que no. Se trata de gradientes de complejidad, sofisticaciones de una modalidad inherente a su condición animal. Es cierto que la metaobservación es una propiedad emergente del yo autoconsciente dentro del sistema socio-relacional, especialmente en los humanos. Esta capacidad nos permite analizar nuestros procesos de pensamiento, evaluar la manera en que tomamos decisiones, comprender nuestras emociones y su impacto en nuestra conducta,

identificar comportamientos que nos generan inconvenientes y reconocer cómo nuestras acciones e ideas influyen en los demás y viceversa.

Sistema socio-relacional

El sistema socio-relacional, para el SSC, constituye un nivel esencial de la complejidad humana, pues se extiende más allá de la piel e incorpora las relaciones íntimas y personales, como la familia y los amigos cercanos. Estos vínculos conforman el primer grupo de referencia y apoyo, permitiendo las primeras interacciones significativas y estructurando el desarrollo emocional y social del individuo. La teoría del apego de Bowlby y Ainsworth muestra cómo estas conexiones tempranas influyen en la capacidad de establecer lazos estables a lo largo de la vida, mientras que la teoría del yo especular de Cooley y la concepción simbólica de Mead evidencian que la identidad es un proceso relacional, donde el sujeto se define en interacción con los demás.

Más allá del círculo íntimo, la cultura y las instituciones sociales emergen como estructuras dinámicas que no solo modelan la identidad individual, sino que la expanden a través de símbolos, normas y valores compartidos. Geertz considera que la cultura es un sistema de significados que orienta la percepción y la acción, mientras que Bourdieu sostiene que las instituciones reproducen *habitus* que configuran el comportamiento y la integración social. En este sentido, el sistema socio-relacional ofrece un marco de identidad y contexto más amplio, en el que los individuos se vinculan con la historia, las tradiciones y una cosmovisión particular. La conexión entre el sujeto y la colectividad no es estática, sino que está mediada por la transmisión intergeneracional del conocimiento y por la

participación en prácticas sociales que otorgan continuidad a las sociedades.⁹⁵

Desde la perspectiva del SSC, el carácter relacional de la identidad responde a la bidireccionalidad de los sistemas complejos. El yo-autoconsciente, lejos de ser una entidad cerrada, se vincula con otros sistemas de contacto a través de flujos de energía que regulan su interacción. Esto implica que la socialización no es solo un fenómeno cognitivo, sino también energético y estructural. En términos del SSC, los vínculos personales y colectivos se pueden “mapear” y representarse como nodos en una red dinámica, donde algunos se comportan como nodos calientes con alta interconectividad y otros como nodos fríos, con menor grado de interacción. Un líder cultural, por ejemplo, funciona como un nodo caliente, pues su influencia genera reconfiguraciones estructurales en la red socio-relacional, mientras que un individuo con menor participación social actuaría como un nodo frío, con interacciones más localizadas.

La adaptabilidad es un componente esencial de este sistema, ya que las relaciones interpersonales y las dinámicas colectivas abarcan fenómenos clave como el ejercicio del poder, la división de tareas, la cooperación, la educación, la transmisión del conocimiento y el desarrollo cultural, todos ellos fundamentales en la continuidad de las sociedades. Luhmann sostiene que los sistemas sociales se autoorganizan a través de la comunicación, mientras que Morin plantea que la evolución social responde a procesos de retroalimentación y reorganización constante. El SSC amplía esta perspectiva al integrar la dimensión de la conectividad temporal, señalando que las redes socio-relacionales se reconfiguran en función de las fluctuaciones energéticas y de la estabilidad estruc-

⁹⁵ Los animales no humanos también exhiben comportamientos socio-relacionales que influyen en su supervivencia, reproducción y estructura social. Estos comportamientos incluyen: la caza, la crianza de los jóvenes, la protección contra depredadores, el cortejo, la defensa del territorio, la formación de alianzas, acciones colaborativas y altruistas y el juego, entre otros. Las investigaciones en etología y la psicología comparada continúan revelando la complejidad de las interacciones socio-relacionales en el reino animal.

tural. En este sentido, las instituciones y las prácticas culturales no solo transmiten información, sino que también modulan la energía social, promoviendo o limitando cambios en la organización colectiva.

El sistema socio-relacional no solo permite la cohesión social, sino que también condiciona la percepción y la acción de los individuos. La filosofía del SSC enfatiza que la conciencia no es un fenómeno puramente individual, sino que emerge de la interrelación entre la identidad subjetiva y la estructura socio-cultural. La memoria colectiva, por ejemplo, es un claro ejemplo de cómo la conectividad temporal moldea la identidad, pues el pasado se reinterpreta constantemente según las necesidades del presente. De este modo, la relación entre el sujeto y el sistema socio-relacional no es unidireccional: el individuo configura la sociedad tanto como la sociedad moldea al individuo. Esta interacción permanente refuerza la idea de que los sistemas sociales no son entidades fijas, sino configuraciones dinámicas que evolucionan mediante la combinación de factores internos y externos.

En conclusión, el sistema socio-relacional es una manifestación de la complejidad humana que se estructura a partir de interacciones dinámicas y adaptativas. Su estudio desde el SSC permite incorporar dimensiones energéticas, espaciales y temporales, proporcionando un marco que integra la identidad individual con los procesos colectivos. Al enfatizar la bidireccionalidad de las relaciones y la estructura en red de las interacciones humanas, el SSC ofrece una perspectiva que supera los enfoques reduccionistas y permite una comprensión más profunda de la complejidad social.⁹⁶

⁹⁶ Yuval Noah Harari explica que los humanos dominan el mundo debido a la capacidad única para cooperar en grandes números de manera flexible, algo que no se observa en otras especies. A diferencia de animales como las hormigas, que cooperan de forma rígida, o los chimpancés, que sólo cooperan en pequeños grupos conocidos, los humanos pueden trabajar juntos en grandes grupos con individuos que no conocen personalmente. Esto se puede asociar con la capacidad simbólica para crear y creer en historias ficticias, como las leyes, el dinero y las naciones, permitiéndonos cooperar a gran escala.

Este enfoque supera la visión estática del yo y lo entiende como un sistema dinámico, influenciado y configurado por múltiples interacciones. La idea de una identidad fragmentaria, bifrontal y circular encaja perfectamente con la visión del SSC, ya que evita reduccionismos y reconoce la coexistencia de estructuras internas y externas en constante transformación.

La bifrontalidad del yo implica que siempre hay una tensión entre lo interno y lo externo, entre lo propio y lo que nos es dado por los sistemas en los que participamos. La circularidad enfatiza que no hay una identidad fija, sino una serie de recorridos que se reconfiguran constantemente según la interacción con otros sistemas.

En otras palabras, la “plasticidad” de este sistema le permite modificar su morfología estructural para satisfacer las necesidades sociales y comunitarias.⁹⁷ El SSC, al entender la conducta social dentro de un sistema socio-relacional, permite analizar los móviles de la conducta humana desde un paradigma interconectado y multidimensional. Aquí mencionamos algunos móviles del comportamiento social:

- Relación con figuras de apego: el vínculo de apego que una persona establece a partir de los seis meses de vida, es el vínculo emocional más importante de la infancia, ya que configura o imprime una forma de estar en el mundo y relacionarse con los demás, especialmente en aquellas relaciones que requieren intimidad, siendo crucial en el desarrollo de la personalidad y el

⁹⁷ Las escuelas psicológicas que enfatizan la condición relacional de los sujetos, como el constructivismo y la teoría de los sistemas familiares, sugieren que nuestra identidad se configura en gran medida a través de nuestras interacciones con los demás. Estos enfoques reconocen la existencia de “múltiples yoes”, entendiendo que nos adaptamos y respondemos de manera flexible a diferentes sistemas y relaciones. Para una mirada compleja, esto no es necesariamente incompatible con la noción de un yo único y constante, proponiendo en su lugar una identidad más fluida y dinámica, formada por la diversidad de nuestras experiencias sociales. No es nuestro objetivo tomar partido adelantando apoyo a alguna de estas perspectivas por sobre la otra, sino acentuando la riqueza epistemológica que traería aparejada la integración de las mismas.

autoestima. Esto mismo ocurre con los diferentes estilos educativos, los cuales repercutirán también en la formación del individuo.

- Necesidad de afecto y aprobación: el afecto y la aprobación crean un flujo de energía positiva que fortalece las conexiones y la cohesión en los sistemas sociales. El afecto permite la construcción de identidad en un contexto de pertenencia y en consecuencia pueden favorecer la estabilidad del sistema.
- Consecución del placer: la búsqueda de placer se relaciona con el equilibrio entre el gasto de energía y la obtención de bienestar, lo que optimiza el rendimiento del sistema socio-relacional. Esta búsqueda no es solo individual; el placer colectivo o compartido, como en actividades comunitarias o celebraciones, fortalece las interacciones y potencia el sentido de comunidad.
- Realización de los deseos: los deseos se entienden como fuerzas motrices que, al cumplirse, contribuyen a la adaptabilidad y crecimiento del sistema. Los deseos, cuando son compartidos en redes sociales, generan metas comunes que impulsan al sistema hacia nuevas configuraciones y objetivos.
- Superación de los miedos: esta superación es un proceso que permite la transición a estructuras más resilientes, ya que el individuo o el grupo incrementan su capacidad para enfrentar amenazas, fortaleciendo así su autonomía y su habilidad para adaptarse a situaciones inesperadas.
- Búsqueda de equilibrio: La necesidad de encontrar un equilibrio entre el esfuerzo y el descanso, la actividad y la reflexión es crucial, ya que un sistema en equilibrio es más sostenible y menos vulnerable.
- Curiosidad y búsqueda de conocimiento: Esta conducta se orienta hacia la adquisición de información y la exploración de lo desconocido. En el SSC, la curiosidad es un factor clave que impulsa la innovación y la evolución de los sistemas al explorar y adaptarse a nuevas realidades.

Cada uno de estos móviles de conducta social fortalece el sistema socio-relacional descrito por el SSC, contribuyendo a la complejidad y resiliencia de los sistemas humanos. La interacción de estos factores produce comportamientos emergentes que son impredecibles y dinámicos, pero coherentes con el equilibrio y la adaptabilidad del sistema en conjunto.

Existen enfoques que subrayan la dimensión relacional de los sujetos, destacando su apertura y plasticidad en la interacción con otros sistemas. Estas perspectivas sugieren que el ser humano no es una entidad fija ni monolítica, sino un conjunto de identidades y roles adaptativos que emergen en respuesta a distintos contextos y relaciones. Este abanico de comportamientos, lejos de reducirse a una visión hegemónica y cristalizada, se despliega de manera flexible y dinámica. En este sentido, algunas escuelas psicológicas postulan la existencia de 'múltiples yoes', un concepto que refleja la diversidad de respuestas y facetas del sujeto ante demandas cambiantes. Desde el SSC, esta visión debe integrarse con la existencia de un yo constante y estructurante, que realiza cálculos, mapeos y cronometrajes desde sus propias decisiones subjetivas.

A raíz de la existencia inmemorial de instituciones que rigen nuestra vida en sociedad, los seres humanos tendemos a naturalizar su existencia y operatividad, lo que implica que nos veamos afectados, en términos energéticos, por su existencia y tendamos a promover reformas que resulten necesarias en su morfología estructural. Asimismo, la heterogeneidad del sistema -derivada de su transversalidad- hace posible observar la más variada gama de organizaciones, desde la familiar, hasta la configuración de un partido político, pasando por instituciones intermedias como un club de barrio, con lo cual el solapamiento con el resto de las expresiones sistémicas es natural a su existencia.⁹⁸

⁹⁸ Desde el SSC, por ejemplo, la creación artística y la actividad política son subsistemas muy importantes. El arte, como subsistema complejo, no puede entenderse simplemente como una

En los sistemas sociales complejos pueden intervenir variables que impidan una administración y un funcionamiento sinérgico del sistema y de la interacción, en orden al empoderamiento y la subsistencia. Además, se pueden cristalizar estructuras de organización que hagan que el esfuerzo del sistema se pierda, es decir, carentes de dinamismo y donde haya componentes que se amplifiquen funcional y estructuralmente a expensas del sobretrabajo de otros que, obviamente, se debilitan y arriesgan con extinguirse. Ciertas dinámicas pueden obstaculizar la eficiencia y la capacidad de adaptación de estos sistemas.

En sistemas sociales, los comportamientos emergentes pueden ser, tanto beneficiosos (creando sinergias y aumentando la adaptabilidad y la resiliencia del sistema) como perjudiciales (conduciendo a ineficiencias, rigidez y, eventualmente, a la disfunción o colapso del sistema). Los "bloqueadores de energía" pueden interpretarse como elementos o dinámicas dentro de un sistema que impiden el flujo efectivo de información, recursos o energía, resultando en ineficiencias y la falta de sinergia.⁹⁹

El fenómeno por el cual ciertos componentes de un sistema se amplifican o se fortalecen a expensas de otros, es un aspecto clave de la dinámica de sistemas complejos. Esto puede llevar a desequilibrios y vulnerabilidades dentro del sistema. En una organización, si ciertos

obra o creación aislada. Desde la perspectiva del SSC, el proceso artístico es una intersección de flujos energéticos (creatividad, emociones), morfologías estructurales (estilos, técnicas) y conectividad temporal (la influencia de obras pasadas y futuras). La política también puede analizarse desde el SSC, donde múltiples variables (económicas, sociales, culturales) interactúan de manera compleja para dar lugar a comportamientos emergentes. Es decir, las relaciones de poder, las políticas públicas y la percepción ciudadana interactúan, no de manera lineal, sino a través de una red compleja de interacciones.

⁹⁹ En el contexto organizacional, lo antedicho podría manifestarse como burocracia excesiva, falta de comunicación entre departamentos o resistencia al cambio. Es que, si las estructuras dentro de un sistema se vuelven demasiado rígidas o cristalizadas, pueden impedir la adaptación y la evolución, conduciendo a una pérdida de dinamismo y, posiblemente, a la obsolescencia o al colapso del sistema. En el ámbito social o empresarial, esto podría verse como la persistencia de modelos de negocio obsoletos o estructuras organizativas que no responden a las cambiantes condiciones del mercado o de la sociedad.

departamentos acumulan recursos y poder, se puede obstaculizar la colaboración y la innovación. Para abordar estos desafíos, es crucial fomentar la adaptabilidad y la flexibilidad dentro de los sistemas complejos, lo cual podría implicar fomentar la diversidad de enfoques y soluciones, facilitar la comunicación y la colaboración entre diferentes partes del sistema y estar abierto a la innovación y al cambio. Y también implica estar atentos a los signos de rigidez o ineficiencia y estar dispuestos a reevaluar y reorganizar las estructuras y procesos que ya no sirven al bienestar general del sistema.

En el contexto de las lógicas sujeto-sujeto, el devenir de las interacciones genera eventos, acciones y posicionamientos que son subjetivos, altamente contextuales y, a menudo, difíciles de predecir. Esto nos desafía a evitar categorías fijas o conceptos predefinidos que podrían reducir la complejidad del fenómeno, obstaculizando el surgimiento y comprensión de variables intervinientes. En lugar de ello, se requieren desarrollos que permitan construir mapas flexibles y adaptativos, aptos para captar la riqueza de las relaciones en sistemas complejos.

Un ejemplo clave de esta complejidad es la interacción entre dos motivaciones del comportamiento social: el deseo de realización de un proyecto o sueño personal y la necesidad de aprobación del grupo familiar y de otros significativos. Estas dos fuerzas no operan de manera aislada; en sistemas sociales complejos, interactúan y se influyen mutuamente, dando lugar a respuestas emergentes que pueden redefinir roles y comportamientos.

El deseo de realización personal es una motivación intrínseca que impulsa al individuo a perseguir metas que reflejan sus aspiraciones, valores y pasiones individuales. Es una expresión de la identidad autoconsciente, donde la persona busca autorrealización y satisfacción personal. Por otro lado, la necesidad de aprobación del grupo familiar y de otros significativos representa una motivación extrínseca. Está relacionado con el yo relacional social, ya que implica

el deseo de ser aceptado, valorado y apoyado por aquellos que son importantes en la vida del individuo. Esta necesidad puede influir en las decisiones y acciones para alinearse con las expectativas y normas del grupo.

La interacción entre estas dos motivaciones puede generar tensiones y conflictos internos . Por ejemplo, una persona puede tener un sueño profesional que no coincide con las expectativas de su familia. Este conflicto interno requiere un proceso de negociación y adaptación, tanto internamente como en las relaciones con los demás.

Así, el SSC ofrece una perspectiva rica para comprender cómo las motivaciones y los móviles personales se entrecruzan y amplifican dentro de los sistemas relacionales. Al estudiar estos móviles como flujos dinámicos de energía y significados que atraviesan diversas estructuras y tiempos de conexión, es posible captar mejor la complejidad y adaptabilidad del comportamiento humano en las estructuras sociales.

Desde el enfoque del SSC, el sistema socio-relacional es un entramado en constante transformación, donde los flujos de energía, las estructuras identitarias y las interacciones sociales se configuran en un equilibrio dinámico. Existen prácticas, rituales e instituciones que, al conformar la morfología estructural de este sistema, pueden ser potenciadoras, promoviendo la expansión de las potencialidades individuales y colectivas, mientras que otras pueden ser hegemónicas y alienantes, limitando la libertad del sujeto y sofocando el desarrollo creativo.

Las implicancias de esta distinción son fundamentales para comprender las dinámicas de adaptación y evolución de las sociedades. Los vínculos, grupos e instituciones que promueven el ensanchamiento de las capacidades humanas permiten la creación de productos colectivos que refuerzan la identidad y la cohesión social.

En contraste, las estructuras alienantes detienen la sinergia y la innovación, generando rigidez y fragmentación. En este sentido, el SSC nos ofrece una lente para evaluar qué tipos de relaciones y estructuras sociales son necesarias para fomentar el crecimiento y la adaptación en un mundo cada vez más complejo.

Por último, la capacidad de interpretar las intenciones, emociones y pensamientos de otros es una ventaja significativa de los humanos. Esta habilidad se conoce como "teoría de la mente" y es crucial para la comunicación, la cooperación y las relaciones sociales. Permite anticipar y comprender las reacciones de otros, lo que facilita la construcción de vínculos complejos y la adaptación en distintas sociedades. Aunque algunos animales muestran comportamientos que indican un entendimiento básico de las intenciones ajenas, los humanos han desarrollado esta capacidad a un nivel mucho más profundo y sofisticado, lo que ha sido esencial para el desarrollo de culturas, sistemas de organización social y conocimientos colectivos.

Sistema mental de organización de comportamientos y productos intangibles

El SSC postula que los fenómenos mentales no son simples epifenómenos del cerebro o productos reductibles a la actividad neuronal. Se trata, más bien, de configuraciones energéticas emergentes, con morfologías estructurales y conectividades temporales específicas. Es importante aclarar que esta “energía mental” no se refiere a una sustancia independiente, sino a un comportamiento relacional dinámico que emerge de la interacción entre estructura, flujo y tiempo. Estos ajustes permiten la adaptabilidad, la intencionalidad y la transformación constante del mundo interno y externo.

Productos como la memoria, la imaginación y la autoconciencia no son entidades fijas, sino flujos energéticos dinámicos organizados dentro -y más allá- de la estructura fisiológica y neurológica del

organismo. Este enfoque se alinea con la teoría de la selección de grupos neuronales de Gerald Edelman y con la idea de autoorganización propuesta por Stuart Kauffman, según la cual la interacción entre componentes da lugar a propiedades nuevas e impredecibles. Desde el SSC, la mente es un sistema emergente complejo que no puede ser comprendido sin considerar su apertura a múltiples sistemas y escalas.

El sistema mental de organización de comportamientos y productos intangibles surge de la interacción entre flujos de energía, morfologías estructurales y conectividades temporales. Esta visión no sólo permite describir fenómenos como el pensamiento, la toma de decisiones o la generación de ideas, sino también comprender la emergencia de la autoconciencia como fenómeno dinámico. En esta línea, se conecta con la teoría de la mente extendida de Andy Clark, que propone que los procesos cognitivos no están confinados al cerebro, sino que se expanden a través de la interacción con herramientas, símbolos y sistemas externos. Asimismo, la neuroplasticidad -estudiada por Michael Merzenich- demuestra que el cerebro se reorganiza constantemente en respuesta a nuevas experiencias, lo que respalda la idea de una mente adaptable y en perpetua evolución.

Este sistema mental exhibe comportamientos emergentes como la anticipación -que proyecta escenarios futuros calculados en comportamientos previos-, la reorganización perceptiva, la generación de intencionalidad y la modulación emocional. La memoria no es un simple almacenamiento pasivo, sino una reconfiguración energética flexible, en sintonía con el principio de energía libre de Karl Friston, donde el cerebro funciona como una máquina inferencial predictiva. La percepción, en lugar de ser un proceso pasivo, se modula activamente mediante la interacción de flujos internos y estímulos sensoriales. Las emociones, lejos de ser

impulsos automáticos, son estructuras dinámicas que optimizan la adaptación y la toma de decisiones en contextos inciertos.

Los productos de este sistema incluyen tanto funciones cognitivas elevadas como procesos más caóticos o desregulados, lo cual evita idealizaciones. Rumiaciones obsesivas, distracciones persistentes o respuestas emocionales desbordadas son también expresión del sistema mental, en tanto resultado de bucles energéticos que afectan la conectividad estructural. Así, el SSC no excluye los desórdenes, sino que los considera parte de la dinámica supercompleja del sistema.

La autorregulación aparece en dos niveles: como condición mínima de equilibrio funcional y como capacidad emergente que permite a los sujetos ajustar su conducta a partir de la interpretación de estados internos y estímulos del entorno. Este doble rol sostiene una homeostasis expandida, que integra emociones, autoconciencia y planificación.

La mente también construye modelos internos del mundo, en los que la imaginación y la memoria funcionan como simuladores energéticos capaces de reconfigurar experiencias y anticipar posibilidades. Este sistema permite la acción deliberada, la evaluación simbólica de consecuencias y la abstracción conceptual, facilitando la construcción de conocimiento y la evolución del pensamiento. En este sentido, la mente es un sistema altamente simbiótico, como lo ilustra Douglas Hofstadter en sus estudios sobre autoconciencia y emergencia.

Ahora bien, es crucial distinguir entre el sistema mental, el sistema simbólico y el sistema yo-autoconsciente. La subjetividad emerge en la interfaz entre ellos: no puede reducirse a la mente, ni agotarse en el lenguaje o la autopercepción. Por eso, el SSC propone una arquitectura combinatoria en la que estos sistemas coparticipan en la configuración del sujeto.

El cerebro humano -considerado en el SSC como el objeto supercomplejo máximo del universo conocido- aloja este sistema mental en constante transformación. Su funcionamiento depende de la interacción con múltiples sistemas: biológico, simbólico, socio-relacional, tecnológico. No se trata de una estructura aislada ni fija, sino de una red dinámica donde convergen percepción, procesamiento de información y producción de significados.

Desde una perspectiva evolutiva, el sistema mental no debe ser leído como una línea ascendente hacia un ideal. El SSC advierte sobre las lecturas teleológicas: si bien se puede observar una progresión en complejidad desde bacterias hasta humanos capaces de abstracción simbólica, este proceso ha sido contingente, estocástico y multidireccional.

El sistema mental tampoco es una abstracción filosófica sin base material: la actividad autoconsciente es observable en reorganizaciones energéticas estructuradas y puede correlacionarse con estudios de neuroimagen, modelado computacional o análisis de redes complejas. Estos métodos permiten investigar cómo los sistemas mentales se reconfiguran ante nuevos estímulos, experiencias o aprendizajes.

La educación, la inteligencia artificial y la psicoterapia encuentran en este enfoque una vía innovadora para describir, intervenir y expandir los procesos mentales. Comprender la mente como un sistema relacional, interdependiente y transformativo permite diseñar estrategias de desarrollo cognitivo, emocional y simbólico más integrales, abriendo nuevas vías para el estudio de la mente humana.¹⁰⁰

¹⁰⁰ Mientras Giulio Tononi propone la Teoría de la Información Integrada (IIT) para medir la conciencia en términos de integración de información (Φ), el SSC rechaza la cuantificación fija de la conciencia y la concibe como un fenómeno dinámico y relacional, dependiente de los flujos de energía, la morfología estructural y la conectividad temporal. Por otro lado, la Teoría del Espacio de Trabajo Global (GWT) de Bernard Baars postula que la conciencia es un espacio de trabajo donde la información compite por ser difundida a nivel cerebral, mientras que el SSC no solo considera la propagación de información, sino que integra el papel de la energía y la estructura en

Como ejemplo, tanto una teoría científica como una obra de arte son productos intangibles que emergen del sistema mental en interacción con sistemas externos. Estos productos modifican a su vez el entorno –en la cultura, la ciencia o la percepción estética– y generan nuevas condiciones de retroalimentación que reconfiguran la mente del creador. Desde el SSC, estos procesos no son eventos aislados, sino ciclos de complejidad creciente donde el pensamiento, al expresarse, transforma su propia fuente.

Sistema simbólico

El sistema simbólico es un conjunto complejo de construcciones comunicativas y representativas, universalmente existentes, compuesto por signos, gestos, imágenes y otros elementos, indispensables para la transmisión y procesamiento de información entre especies, destacando entre ellas los mamíferos superiores. Estas representaciones comunican tanto aspectos ordinarios como fundamentales de la vida, conceptualizando elementos abstractos de la realidad. En este sentido, funcionan como catalizadores de la vida social y cultural en comunidad, facilitando la integración y comunicación de individuos en un espacio común. Está profundamente vinculado con el sistema socio-relacional.

Desde el SSC, el sistema simbólico se puede analizar mediante la tríada de energía, espacio y tiempo. Esta perspectiva permite ver en los sistemas simbólicos una energía vinculada a su capacidad de convocatoria y a su poder transformador y consolidante de comportamientos, actitudes y creencias. El espacio se configura a través del número, distribución y mapa de usuarios: seguidores, adeptos y multiplicadores que interactúan en torno a un mismo

la emergencia de la conciencia. Finalmente, John Hopfield introduce modelos de memoria asociativa basados en redes neuronales, que el SSC amplía al considerar que la memoria no solo se reconfigura a nivel neuronal, sino también en interacción con sistemas socio-relacionales, simbólicos y tecnológicos. A diferencia de estos enfoques, el SSC propone un modelo multidimensional y combinatorio, que no se limita a la neurociencia, sino que permite abordar sistemas complejos en diversas escalas y disciplinas.

sistema simbólico. El tiempo, en cambio, se observa en la duración de su presencia y en su capacidad de perdurar como medio de cohesión e influencia comunitaria.¹⁰¹

La simbología resulta imprescindible para la creación, comprensión y comunicación de manifestaciones humanas, sociales y culturales¹⁰². Este sistema comprende diversas expresiones, como los idiomas, la escritura, los números y las operaciones matemáticas, así como las expresiones artísticas, narrativas, mitos y rituales¹⁰³. Además, la simbología abarca arquetipos y figuras identitarias, que estructuran un sentido de pertenencia y cohesión dentro de las comunidades¹⁰⁴.

El pensamiento crítico nos permite revisar y actualizar nuestras interpretaciones, generando simbólicas más acordes con los desafíos del presente. Esto evita que caigamos en el dogmatismo, el fanatismo o en la perpetuación de creencias que ya no son útiles o que incluso pueden ser dañinas.

En el SSC, los símbolos son vistos como entidades de alta energía, que al fluir generan sentidos y emociones colectivas. Estos símbolos no solo responden a las necesidades actuales de la comunidad, sino que, a través de un proceso de retroalimentación,

¹⁰¹ El concepto de "cambio de fase simbólica" se refiere a la capacidad de los símbolos de modificar su posición y relevancia dentro de una comunidad, dependiendo de contextos cambiantes, como crisis sociales o movimientos culturales que los revalorizan o los desplazan.

¹⁰² Por ejemplo, para el psicoanálisis, la simbología históricamente ha sido esencial en la exploración de la mente y la conducta humana. Los símbolos en sueños, lenguaje y arte, por ejemplo, son vistos como manifestaciones de deseos y conflictos inconscientes. En igual sentido, las metáforas han sido utilizadas para la comprensión de los conceptos psicoanalíticos.

¹⁰³ Se estima que son más de 7.000 las lenguas que se hablan en la actualidad y que existen más de 4.200 religiones en el mundo. Esta cifra incluye una amplia gama de creencias, desde las religiones mayoritarias hasta pequeñas tradiciones espirituales y cultos locales.

¹⁰⁴ Las creencias pueden ser tanto construcciones simbólicas como racionales. Las creencias simbólicas se fundamentan en sistemas de significados compartidos dentro de una cultura o grupo social. Estas creencias están a menudo arraigadas en tradiciones, rituales, mitos y símbolos. Las creencias racionales, en cambio, se basan en el razonamiento lógico y la evidencia empírica. Estas creencias se forman a través de la observación, la experimentación y el análisis crítico. La ciencia y el método científico son ejemplos clave de cómo se forman y validan las creencias racionales. Es importante notar que la distinción no siempre es clara y muchas creencias pueden tener elementos tanto simbólicos como racionales.

influyen en los flujos energéticos de sus usuarios y en la creación de un sentido de identidad. Este proceso circular refuerza la cohesión y permanencia del sistema simbólico, ya que el símbolo, una vez instaurado, devuelve energéticamente al individuo un sentimiento de pertenencia, sentido de propósito y disposición a invertir recursos personales en sostener y expandir el símbolo.

Las creencias y los deseos son matrices proyectivas construidas desde el deseo, la necesidad o la imposición cultural. Esto implica reconocer que no emergen de forma espontánea ni “pura”, sino que son el resultado de flujos de energía interpretativa que moldean nuestras estructuras mentales, afectivas y conductuales. El SSC subraya que este sistema simbólico tiene un impacto concreto sobre la morfología estructural del sujeto -por ejemplo, a través de hábitos corporales o disposiciones emocionales- y sobre su conectividad temporal -la duración y forma de sus vínculos, decisiones y recorridos vitales-. Para el SSC, si bien estas matrices simbólicas son inevitables -porque todo sujeto necesita mapas para habitar el mundo-, no deben asumirse como verdades absolutas. El pensamiento supercomplejo propone una actitud crítica, combinatoria e integradora, en la que las creencias y los deseos se revisan, se entrelazan y se reconfiguran siempre en diálogo con otras dimensiones del sistema (biológicas, tecnológicas, afectivas, ecológicas, racionales, relacionales). En síntesis, no proponemos negar los sistemas simbólicos, sino intervenirlos. No huir de la subjetividad, pero tampoco absolutizarla.

En definitiva, el SSC aboga por la integración de simbólicas racionales y emocionales, superando, por un lado el racionalismo reduccionista y por el otro la credulidad emotivista. Se trata de equilibrar y tomar lo mejor de las construcciones simbólicas de cada época y superarlas con otras simbólicas más integrales. El SSC plantea que las simbólicas más integrales deben ser flexibles y adaptativas, diseñadas para facilitar la coexistencia de múltiples perspectivas.

Estas simbólicas deben evitar tanto el dogmatismo como el relativismo extremo, manteniéndose en constante diálogo con los descubrimientos científicos. Además, deben prevenir cualquier inclinación hacia sesgos, como el sesgo de confirmación, o prácticas que busquen controlar o manipular a sus seguidores a través de la manipulación o el miedo.

El sistema simbólico es de alta adaptabilidad, cuyo dinamismo y resiliencia dependen de su capacidad para mantenerse vigente y eficaz en su función comunicativa y de cohesión. La complejización de estos sistemas, impulsada por el desarrollo tecnológico y lingüístico, exige una creciente demanda energética para su mantenimiento, procesamiento y expansión, dando lugar a sistemas simbólicos que abarcan y adaptan constantemente los significados para atender a un espectro cada vez mayor de situaciones y realidades.

Desde la perspectiva de los usuarios, estos sistemas aportan una retroalimentación energética positiva en tanto refuerzan la identidad colectiva e individual. Los símbolos elegidos, mantenidos y compartidos por la comunidad aportan un sentido de pertenencia y propósito en la vida de sus portadores, motivando el esfuerzo, la dedicación de recursos y la disposición al sacrificio. Esta dinámica asegura que los sistemas simbólicos sigan evolucionando en concordancia con las necesidades cambiantes de las comunidades y, en última instancia, contribuye a la supervivencia y cohesión del grupo en el tiempo.

En definitiva, los sistemas simbólicos son generadores y amplificadores de sentido. Son motores de cohesión y transformación comunitaria que, al enlazarse con los flujos de energía, espacio y tiempo, constituyen un aspecto central del macrosistema biológico y de la organización humana. Su complejidad y adaptabilidad son indicadores de su importancia en la estructura cultural y social, ya que permiten a las comunidades evolucionar, consolidarse y sostener

sus valores a través de manifestaciones simbólicas cada vez más complejas y matizadas.

Si bien es cierto, los símbolos son nodos que interconectan pensamientos, emociones y acciones, sin embargo, es necesario profundizar en la complejidad del lenguaje y la complejidad comunicativa como elementos esenciales de este sistema.

El lenguaje humano no es un simple código para la transmisión de información, sino un sistema complejo, emergente y dinámico que articula significados y estructura la realidad simbólica de los individuos y colectivos. Cumple funciones interactivas que moldean tanto la comprensión individual como la construcción de redes de significados colectivos; no solo describe el mundo, sino que lo transforma: al construir metáforas, relaciones y conceptos, se producen realidades interpretativas que inciden en las prácticas humanas. Por lo tanto, debe ser entendido como un componente clave en la evolución de la complejidad social, especialmente en contextos donde las interpretaciones influyen en las decisiones colectivas y en la percepción del entorno.¹⁰⁵ Se debe considerar el lenguaje como un "sistema simbólico evolutivo" donde los significados emergen, se combinan y cambian a través del tiempo y las interacciones.

Las metáforas ocupan un lugar fundamental en esta construcción ya que no sólo expresan sentimientos o ideas, sino que también cumplen una función crucial en la configuración de realidades simbólicas. Desde el SSC, las metáforas actúan como nodos de alta densidad energética que permiten condensar significados complejos en imágenes precisas, facilitando así la conexión entre dimensiones abstractas y experiencias concretas. Al sintetizar múltiples sentidos en una sola expresión, las metáforas no solo comunican, sino que también modelan la comprensión de fenómenos complejos,

¹⁰⁵ La "evolución simbólica" implica que los significados asociados a un símbolo no son estáticos, sino que se transforman a lo largo del tiempo en función de su integración en nuevas narrativas colectivas o de su reinterpretación a partir de cambios históricos y culturales.

estableciendo vínculos simbólicos que potencian la cohesión y el entendimiento colectivo.

La comunicación humana no es un proceso lineal de emisor-receptor, sino una red de interacciones simbólicas donde los significados se reinterpretan continuamente. La complejidad comunicativa surge cuando múltiples voces, contextos y perspectivas generan interpretaciones diversas y muchas veces contradictorias. Esto implica que el acto de comunicar no es solo una transferencia de datos, sino una construcción conjunta de realidades.

Para el SSC, reconocer esta complejidad comunicativa implica aceptar que la interpretación de conceptos no es universal ni fija, sino contextual y variable. Esto resuena especialmente en el ámbito académico, político y social, donde los discursos generan realidades que condicionan la acción y la interacción humana. El lenguaje no es sólo un medio de expresión, sino una red simbólica dinámica que conecta experiencias pasadas, conocimientos actuales y proyecciones futuras. Esta red está en constante evolución, adaptándose a nuevas realidades y resignificando los conceptos previamente establecidos. Desde el SSC, el lenguaje debe ser considerado como una red de interdependencias simbólicas, donde cada nuevo nodo (palabra, expresión o concepto) reconfigura el conjunto de significados.¹⁰⁶

El desafío radica en modelar cómo el lenguaje genera, amplifica o reduce la complejidad de las interacciones humanas. Los sistemas simbólicos deben contemplar no sólo la estructura lingüística, sino también los contextos pragmáticos y relacionales en los que el lenguaje cobra vida y adquiere significado.

¹⁰⁶ La perspectiva del SSC sobre la complejidad del lenguaje y la comunicación encuentra resonancias en diversas teorías contemporáneas. Desde el pensamiento complejo de Edgar Morin y la biología del conocimiento de Maturana y Varela, hasta la acción comunicativa de Habermas y el enfoque rizomático de Deleuze y Guattari, la noción de lenguaje como un sistema emergente y dinámico ha sido explorada en múltiples campos. Asimismo, autores como Luhmann, Hall, Vygotsky y Derrida destacan el carácter contingente, sociocultural y polifónico del lenguaje. Por otro lado, el enfoque de Jacques Lacan, al considerar el lenguaje como una estructura simbólica que articula significados de manera no lineal, aporta una perspectiva valiosa sobre cómo el lenguaje construye realidades complejas.

Sistema tecnológico¹⁰⁷

Estos sistemas se caracterizan por ser creaciones humanas destinadas a satisfacer determinadas demandas –en general de índole socioeconómica–. Se trata de componentes tecnológicos (digitales y analógicos), metodologías ingenieriles y programas de avanzada que interactúan con distintos sistemas de contacto en la búsqueda de operar de forma efectiva y eficiente. Las herramientas tecnológicas amplían las habilidades físicas, cognitivas y sensoriales de los humanos, permitiendo superar las limitaciones biológicas y alcanzar objetivos que de otra manera serían inaccesibles¹⁰⁸. En general, afectan positivamente a los usuarios ya que les implica un menor gasto energético en función de que los productos del sistema, máquinas, se encargan de realizar una determinada labor que con anterioridad concretaba el usuario o que le resultaba imposible de realizar, o aún más, efectúan actividades que benefician a una determinada comunidad en su conjunto.

Haciendo un poco de historia, los primeros homínidos transformaron pedernales y garrotes en herramientas más sofisticadas como hachas, martillos y lanzas. Esta capacidad de crear y utilizar herramientas marcó un avance significativo en su desarrollo, permitiéndoles cazar, defenderse y realizar diversas tareas de manera más eficiente.

¹⁰⁷ Muchos objetan la inclusión del sistema tecnológico dentro del macrosistema biológico. Si bien aceptamos las diferencias fundamentales en su origen, composición y propósito, la tecnología a menudo se desarrolla como una extensión de las capacidades biológicas humanas, desde herramientas simples hasta complejos sistemas de información y es por ello que se podría considerar que los sistemas tecnológicos son una manifestación de la biología humana, ampliando nuestras capacidades físicas y cognitivas y, por lo tanto, formando parte del macrosistema biológico.

¹⁰⁸ No consideramos que los animales no humanos desarrollen, en el sentido estricto, “tecnología”, pero muchos animales utilizan objetos de su hábitat como herramientas construyendo, en algunos casos, estructuras sofisticadas. No obstante, es importante distinguir entre el uso instintivo o aprendido de herramientas y estructuras en animales y el desarrollo de tecnología en humanos, que involucra procesos complejos de diseño, innovación y abstracción. La “tecnología animal” es generalmente específica para tareas particulares y no muestra la misma capacidad de innovación acumulativa que caracteriza a la tecnología humana.

A medida que adquirieron más conocimientos y habilidades, comenzaron a experimentar con diferentes materiales y técnicas. Aprendieron a tallar y afilar piedras con mayor precisión, a utilizar huesos y astas de animales para fabricar herramientas más especializadas y a diseñar utensilios para tareas específicas como la pesca, la recolección de alimentos y la fabricación de ropa.

Esta progresiva complejidad en la elaboración de herramientas reflejó no solo un avance tecnológico, sino también un desarrollo cognitivo significativo. Los homínidos empezaron a planificar con anticipación, a comprender las propiedades de los materiales y a transmitir estos conocimientos a través de generaciones. La sofisticación en la tecnología de herramientas fue fundamental para su supervivencia y éxito evolutivo, facilitando la adaptación a diversos entornos y mejorando su capacidad para obtener recursos.

Por su naturaleza, los sistemas tecnológicos tienden al progreso de la mano de los avances científicos, que les permiten adaptarse a las nuevas necesidades, ya que las demandas de actualización e innovación permanentes son consustanciales a la existencia de esta clase de sistemas. Al día de la fecha, aún siendo creaciones humanas y sometidas al albedrío de la humanidad, están proliferando configuraciones semi automáticas y sistemas con capacidad de autoaprendizaje y toma de decisiones, de manera autosuficiente.

Por otra parte, se trata de sistemas insoslayables e indispensables para las sociedades modernas que sustentan su funcionamiento y progreso, en la medida en que abarcan desde infraestructuras ordinarias hasta la provisión de servicios públicos. En otros términos, la vinculación entre la vida en sociedad y la tecnología es prácticamente total. Por ello, la supervivencia de estos sistemas está atada a la supervivencia de la humanidad. No obstante, en términos adaptativos y considerando que toda creación humana está constreñida al efectivo cumplimiento de su mandato de origen, la supervivencia de un sistema particular de esta naturaleza, está

condicionada por la superación de otro sistema que resulte más eficiente.

A) Subsistemas Tecno-Ingenieriles

Los sistemas tecno-ingenieriles integran diversos elementos de tecnología y de ingeniería; en general, se trata de estructuras y máquinas que resuelven determinados tipos de problemas y se basan en la utilización de avances tecnológicos como dispositivos y softwares especializados. Desde el SSC, estos subsistemas se entienden como nodos energéticos que amplifican las capacidades humanas, extendiendo sus limitaciones físicas y cognitivas mediante procesos de flujo energético que transforman las tareas manuales en procesos automatizados o semiautomatizados, haciendo un uso eficiente del espacio y el tiempo.

Estos sistemas requieren de energía proporcionada por otro sistema, humanos (excepcionalmente otros animales), lo que hace que, en rigor de verdad, sean extensiones humanas creadas para manipular la realidad y los sistemas de contacto. La perspectiva del SSC considera que estos subsistemas permiten una “externalización” de capacidades humanas, lo que aumenta la complejidad del sistema en su conjunto al integrar nuevas capacidades de adaptación y retroalimentación que potencian su propia evolución. En este sentido, la configuración de un sistema de este tipo dependerá de las demandas humanas, de distintas naturalezas, que esté destinado a satisfacer.

Por su parte, la adaptabilidad y supervivencia del sistema tecno-ingenieril, considerado como un abstracto representativo del colectivo, está dada por su indispensabilidad en el mundo moderno. Resulta inconcebible la inexistencia de estos sistemas en las sociedades actuales. Incluso, la velocidad en el avance de la tecnología está llamada a reconfigurar los modelos existentes e impulsar la aparición de productos emergentes extraordinarios, dignos de una verdadera

revolución tecnológica. Esta adaptabilidad y capacidad de innovación permanente se entienden como parte de un proceso de conectividad temporal y espacial, en el que la función de cada sistema está determinada por su relevancia en un entorno y tiempo específicos. Esto implica que, al evolucionar, los sistemas tecno-ingenieriles no solo responden a las necesidades actuales, sino que contribuyen al desarrollo de un entorno que, a su vez, plantea nuevas demandas de complejidad.

B) Subsistemas Ciberanalógicos

Los subsistemas ciberanalógicos se componen de elementos digitales y analógicos y son, al igual que los tecno-ingenieriles, creaciones humanas. Se trata de sistemas de información y comunicación interconectados, cuya energía está basada en el autoaprendizaje y la superación de las destrezas de otros sistemas. Estos sistemas están pensados para tender puentes entre el mundo físico y el digital y pretenden mejorar la funcionalidad y fiabilidad de sistemas físicos por medio de capacidades de computación y comunicación digital.

Habitualmente, están destinados a la transformación de información obtenida de la realidad, señales sonoras, por ejemplo, a formato digital para su procesamiento. Una vez procesados, los datos previamente digitalizados se convierten en señales análogas con el fin de controlar dispositivos de automatización. Las expresiones más comunes son sistemas digitales de control de información y toma de decisiones. A este respecto y a modo ilustrativo, en la robótica se pueden observar robots que utilizan sensores análogos para detectar sus sistemas de contacto (distancia o temperatura) y sistemas de control digital para procesar la información y tomar decisiones.

En términos de SSC, esta traducción de información entre lo físico y lo digital no es solo un proceso de transformación, sino una complejización del flujo energético e informacional en el sistema.

Esto añade una “circularidad energética” en la que el sistema se adapta y responde de manera dinámica a las condiciones de su entorno, aumentando así su capacidad para operar en diversos contextos.

A diferencia de los subsistemas tecno-ingenieriles, la adaptabilidad de los sistemas ciberanalógicos está profundamente vinculada a su capacidad para procesar y ajustar la información en tiempo real. La complejidad adicional que aportan los sistemas de autoaprendizaje les permite no solo responder a demandas inmediatas, sino anticiparse y generar nuevas soluciones mediante la reconfiguración interna y la creación de comportamientos de mapeo. Esta propiedad de “autoexpansión adaptativa” convierte a los sistemas ciberanalógicos en componentes clave de la infraestructura tecnológica en el SSC, potenciando su complejidad y su capacidad de intervención.

Un caso interesante para analizar es el de las redes neuronales artificiales (RNA), ya que estas modelan, de manera simplificada, los modelos de aprendizaje, adaptación y procesamiento de información características de sistemas biológicos. Desde el SSC, las RNA no solo pueden entenderse como herramientas de predicción o clasificación, sino como representaciones funcionales de la complejidad inherente al cerebro humano, un sistema supercomplejo por excelencia. En este sentido, los ARN actúan como puentes entre los sistemas analógicos y los digitales. Por un lado, su arquitectura emula las propiedades continuas y adaptativas de los sistemas analógicos, permitiendo la transmisión y transformación de señales a través de capas de nodos interconectados. Por otro lado, operan en entornos digitales, donde sus procesos son discretos y computacionales.

Los sistemas analógicos, tal como los concibe el SSC, ofrecen una perspectiva enriquecedora para comprender el flujo dinámico de energía y datos en un RNA. Mientras que los sistemas digitales trabajan con unidades discretas de información, los sistemas analógicos se centran en las relaciones continuas y los gradientes de

cambio. Este paradigma es crucial para modelar procesos como la plasticidad sináptica en redes neuronales, donde las interacciones no son binarias, sino graduales y dependientes del contexto.

En resumen, la vinculación entre RNA y SSC no sólo redefine nuestra comprensión de los sistemas complejos, sino que también impulsa el desarrollo de tecnologías más integrales y adaptativas. Estas tecnologías, inspiradas en la sinergia entre lo biológico, lo analógico y lo digital, podrían ofrecer soluciones innovadoras en campos como la inteligencia artificial, la biomedicina y la robótica, alineándose con la visión integradora del SSC.

CAPÍTULO NUEVE

UNA PERSPECTIVA INTEGRAL E INTEGRADORA DE LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS

Los sistemas biológicos son ejemplos vivos de complejidad, manifestándose en interacciones dinámicas que abarcan desde el nivel molecular hasta ecosistemas completos. El Saber Supercomplejo (SSC) no solo permite analizar la intrincada red de relaciones en la naturaleza, sino también conecta estos principios con los sistemas sociales, resaltando cómo la interacción humano-naturaleza puede ser reconfigurada para garantizar sostenibilidad y resiliencia.

En un mundo cada vez más interdependiente, abordar los desafíos multifacéticos de nuestra era requiere marcos transdisciplinarios. El SSC invita a un diálogo colaborativo que promueva la coexistencia armónica de los sistemas biológicos y de las sociedades adaptativas capaces de prosperar en un entresistemas en constante cambio. Es por eso, que desde el SSC, consideramos:

a) Los sistemas biológicos se conectan a través de redes de interacción no lineales que operan en diversos niveles de complejidad, donde la búsqueda de la supervivencia y del bienestar son los objetivos fundamentales.¹⁰⁹ Esto se refleja en el principio de selección natural, donde aquellos organismos y comportamientos que mejor se adaptan a su entresistemas tienen más probabilidades de sobrevivir y reproducirse. El SSC se distancia del evolucionismo clásico en un punto crucial: no sobrevive el más fuerte ni el más adaptado en términos lineales, sino aquel sistema que mejor administra la interacción estratégica entre energía, relaciones y

¹⁰⁹ No negamos la importancia de otros objetivos y comportamientos como la cooperación, la competencia, la diversidad genética, las interacciones simbióticas, la cultura y las normas sociales. Los consideramos comportamientos derivados de estas coproducciones y compartiendo con ellas su base corpóreo-cerebral. Estos comportamientos intangibles también se pueden encontrar, con menor sofisticación, en animales. Las plantas, en general, tienden a generar comportamientos lineales e innatos con menor combinatoria de sistemas.

temporalidad. La clave no está en la potencia bruta ni en la resistencia aislada, sino en la capacidad de combinar lúcida e inteligentemente tres operaciones esenciales: el *cómputo* (lectura compleja de flujos y tensiones), el *mapeo* (representación multiescalar de las relaciones del sistema) y el *cronometraje* (sintonización temporal de las decisiones). Los sistemas que florecen son aquellos que eligen cuándo estabilizarse y cuándo emerger, cuándo sostener vínculos y cuándo reorganizarlos, cuándo intervenir y cuándo descansar. En lugar de una adaptación pasiva al entorno, proponen una co-evolución activa con él. Desde esta perspectiva, la evolución no es una selección por fuerza ni velocidad, sino por inteligencia adaptativa, relacionalidad estratégica y gestión consciente del tiempo y la energía. Son estos sistemas los que se vuelven más resilientes, creativos y sostenibles: no porque no sufran crisis, sino porque saben transformarlas en oportunidades de reorganización y fortalecimiento. Los sistemas biológicos complejos, al interactuar, no solo activan potencialidades latentes, sino que generan capacidades emergentes que se perfeccionan en colaboración. Este principio encuentra sustento en las dinámicas mutualistas, como las redes de micorrizas que optimizan la captación de nutrientes en las plantas mediante su interacción con hongos especializados, fortaleciendo la productividad de los ecosistemas terrestres.¹¹⁰ A nivel microscópico, la microbiota humana ilustra cómo las comunidades simbióticas de microorganismos desempeñan un rol esencial en el equilibrio inmunológico y metabólico del organismo, transformándose en un pilar de la medicina personalizada al revelar vínculos directos entre su composición y la salud del huésped.¹¹¹ Por su parte, ecosistemas complejos como los arrecifes de coral destacan la resiliencia emergente que resulta de las interacciones coadaptativas entre corales, peces y microorganismos, permitiendo la regeneración

¹¹⁰ Cfr. Smith, Sally E., and David J. Read. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd ed., Academic Press, 2010.

¹¹¹ Cfr. Turnbaugh, Peter J., et al. "The Human Microbiome Project." *Nature*, vol. 449, no. 7164, 2007, pp.

frente a perturbaciones de otros sistemas de contacto.¹¹² Estas interacciones, que operan simultáneamente a múltiples escalas, encuentran un paralelo conceptual en la biología de sistemas, donde se modelan redes complejas para comprender y anticipar dinámicas adaptativas. Desde la perspectiva del SSC, no solo se describen estos fenómenos, sino que se los trasciende al anticipar estrategias que integran conservación, biotecnología y salud. En este sentido, se abordan los sistemas biológicos desde una perspectiva que combina lo individual y lo colectivo, resaltando cómo las interacciones no lineales generan una variedad de estrategias para la optimización, la resiliencia y la supervivencia, propias de sistemas cuya complejidad depende tanto de su estructura como de su capacidad de relacionarse.

b) Los sistemas biológicos influyen de manera significativa en otros sistemas biológicos a través de diversos mecanismos, que incluyen interacciones físicas, químicas, electromagnéticas y sociales. Estas influencias son fundamentales para la dinámica de los ecosistemas, las relaciones entre organismos y los procesos biológicos que ocurren dentro de los individuos. Uno de los mecanismos principales es la liberación de sustancias químicas, como feromonas, compuestos alelopáticos e intercambio de metabolitos, que pueden modificar el comportamiento, el crecimiento o la supervivencia de otros organismos. Además, los sistemas biológicos generan campos eléctricos y magnéticos mediante la actividad celular, especialmente a través de procesos como los potenciales de acción en las neuronas y la contracción muscular. Más allá de estas interacciones específicas, la capacidad de los sistemas biológicos para influir en otros es esencial para la evolución, el mantenimiento del equilibrio en los ecosistemas y el funcionamiento interno de los organismos. Por ejemplo, las relaciones simbióticas y las cadenas tróficas dependen de estas dinámicas para garantizar la estabilidad y

¹¹² Cfr. Hughes, Terry P., et al. "Global Warming and Recurrent Mass Bleaching of Corals." *Nature*, vol. 543, no. 7645, 2017.

la adaptabilidad de las comunidades biológicas. Comprender estas complejas interacciones es clave para diversas disciplinas, incluyendo la ecología, la biología molecular, la medicina y las ciencias del comportamiento, ya que permite un entendimiento más profundo de cómo los sistemas biológicos coexisten, evolucionan y se adaptan a sus entornos.

c) Todos los sistemas biológicos complejos son únicos, pero también forman parte de una especie. Es fundamental un paradigma integrativo y combinatorio que permite describir e intervenir con igual profundidad tanto en el sujeto individual como en la especie. Por ejemplo, una medicina alternativa podría abordar las características particulares de cada individuo sin perder de vista las características comunes de la especie. Esta perspectiva enfoque incluiría una evaluación personalizada del paciente, considerando factores genéticos, psicológicos y sociales que influyen en su salud, al tiempo que se integrarían conocimientos y tratamientos basados en comportamientos comunes a la especie, como las respuestas típicas a ciertos medicamentos o tendencias epidemiológicas. Esta comprensión y acción combinada permitiría generar descripciones, predicciones e intervenciones válidas a gran escala, sin dejar de lado la posibilidad de adaptar los tratamientos a cada sujeto en particular.

d) En todos los seres vivos, existe una interacción multifuncional entre sus subsistemas y componentes. Mientras que algunos animales desarrollan funciones altamente especializadas, como el vuelo en los murciélagos o la bioelectricidad en las anguilas, el cuerpo humano destaca por la integración y optimización de sus once sistemas. Esto le permite realizar una enorme diversidad de tareas, que van desde actividades físicas hasta procesos abstractos como la resolución de problemas o la reflexión sobre su propia existencia. De esta manera, el cuerpo humano no necesariamente tiene más sistemas, pero sí una capacidad única para trascender la mera supervivencia mediante la creación de cultura, arte y ciencia. Por otro lado, los vegetales

también ejemplifican esta interacción sistémica, aunque de manera distinta. A través de la fotosíntesis, los vegetales convierten la energía solar en química, lo que constituye la base energética de los ecosistemas. Su morfología estructural está adaptada para captar y distribuir recursos de manera eficiente, mientras que sus procesos, como la floración o la dormancia, están sincronizados con los ritmos naturales. Así, aunque sus funciones no incluyen procesos abstractos, los vegetales desempeñan un papel esencial en la interconexión de los sistemas vivos.

e) En los sistemas biológicos, toda comunicación, desde una señal electroquímica hasta un algoritmo de redes sociales, modifica el equilibrio dinámico de los sistemas en interacción. Esto se debe a que los sistemas biológicos funcionan como redes complejas multiescalares, donde los flujos de información no se limitan a un solo nivel de organización. Una señal electroquímica en el cerebro puede desencadenar una serie de respuestas adaptativas que afectan tanto procesos internos (como la regulación hormonal) como comportamientos externos (como la interacción social). De manera análoga, un algoritmo de redes sociales puede modificar comportamientos de conducta grupal al influir en la percepción y el intercambio de información entre individuos. En ambos casos, la comunicación no solo transporta información, sino que también reconfigura relaciones y equilibrios previos, generando nuevas configuraciones sistémicas.

f) La depredación, este "comerse unos a otros", se convierte en una dinámica fundamental para la sostenibilidad de la naturaleza ya que regula las poblaciones, promueve la biodiversidad y contribuye a la evolución adaptativa. Es, efectivamente, un comportamiento complejo que involucra múltiples factores biológicos, ecológicos y evolutivos y aunque puede parecer un juego de supervivencia "cruel", mantiene ciclos de vida y permite la renovación constante de las especies. A diferencia de otros animales, los humanos podemos cuestionar y modular nuestros comportamientos depredadores,

explorando formas de reducir el daño al macrosistema biológico y promover prácticas sostenibles.

g) El engaño, entendido como una estrategia de manipulación de la percepción, desempeña un papel crucial tanto en la evolución biológica como en las dinámicas sociales. Desde la supervivencia de organismos en la naturaleza hasta la interacción humana en contextos complejos, el engaño emerge como una herramienta adaptativa que genera ventajas específicas bajo determinadas condiciones. En el reino animal, el camuflaje y el mimetismo son formas comunes de engaño que permiten a los organismos protegerse de depredadores o capturar presas. Por ejemplo, el camaleón adapta su color para confundirse con el entorno, mientras que las orquídeas engañan a las abejas al imitar visual y olfativamente a hembras de su especie, facilitando la polinización. La señalización engañosa es otra estrategia evolutiva. Un ejemplo destacado es el de las serpientes coral falsas, que imitan los diseños de colores de especies venenosas para disuadir a los depredadores, aprovechándose de señales que normalmente indican peligro. En los seres humanos, el engaño toma formas más complejas, como la omisión de información, el maquillaje o la manipulación de la verdad. Estas estrategias no solo buscan protección o ventaja individual, sino también adaptarse a normas sociales específicas o evitar conflictos.

h) Todos los sistemas biológicos, como ya hemos señalado, están conectados y son interdependientes entre sí, lo que exige que los desarrolladores humanos actúen con cuidado y responsabilidad en sus intervenciones. El objetivo es promover un equilibrio dinámico que fomente la diversidad y la resiliencia. Esto requiere una gran apertura mental, así como una perspectiva interdisciplinaria y transdisciplinaria en la ciencia y en la práctica científica. Un ejemplo de ello es la ecología, donde la eliminación de una especie clave puede desencadenar efectos en cascada en la cadena alimentaria y en los procesos ecológicos, subrayando la importancia de considerar la red

de relaciones al tomar decisiones sobre conservación o gestión. La tecnología moderna, como la biotecnología, la edición genética y la inteligencia artificial, ha revolucionado nuestra interacción con los sistemas biológicos, generando avances significativos en salud, reproducción y longevidad. Estos avances permiten la medicina personalizada, el tratamiento de enfermedades y la optimización de recursos biológicos. Sin embargo, también presentan riesgos importantes, como la modificación genética descontrolada, que puede alterar los ecosistemas.

i) Hay comportamientos y productos intangibles coproducidos por los sistemas del yo autoconsciente, yo socio-relacional y simbólico que generan supercomplejidad. Estos incluyen pensamientos, emociones, sueños, creencias, imaginación, creatividad, valores, ideologías, percepciones y experiencias subjetivas. Esta generación múltiple y generalmente imbricada, puede generar conflictos y tensiones. Por ejemplo, las emociones influyen en cómo nos relacionamos socialmente, afectan nuestra autoconciencia y moldean nuestros símbolos y pensamientos. Este entrecruzamiento, aunque natural, puede generar tensiones que obligan al sujeto a realizar un mapeo superador. Lo mismo ocurre con las normas y expectativas sociales, que pueden colisionar con las motivaciones y deseos personales, así como con la identidad personal que, en función de los diferentes roles sociales que asumimos, puede entrar en conflicto.¹¹³

j) Otro aspecto fundamental está relacionado con cómo los sistemas biológicos manejan la tensión entre bienestar y supervivencia. A menudo, las estrategias que maximizan la supervivencia a corto plazo pueden comprometer el bienestar a largo plazo y viceversa. Por ejemplo, un animal puede necesitar consumir una

¹¹³ Mientras que la química cerebral facilita procesos de memoria y aprendizaje, las experiencias sociales y culturales modifican las conexiones sinápticas y los patrones químicos a lo largo del tiempo (neuroplasticidad). Para el SSC, la conciencia, la identidad y la interpretación del otro, por ejemplo, evolucionaron como estrategias adaptativas, inicialmente basadas en mecanismos químicos, pero que se diversificaron y complejizaron con el desarrollo de estructuras simbólicas y sociales.

gran cantidad de recursos rápidamente para sobrevivir a una situación inmediata de escasez, pero esto podría tener un impacto negativo en su salud a largo plazo. En los humanos, esta tensión se refleja en decisiones cotidianas: trabajar largas horas puede asegurar la estabilidad económica (supervivencia), pero perjudicar la salud mental y física (bienestar). Para el SSC, es crucial generar estrategias integradoras que aborden ambos aspectos de manera simultánea. La búsqueda de soluciones que promuevan tanto el bienestar como la supervivencia es esencial para el desarrollo sostenible de los sistemas biológicos.

k) La identidad personal y la identidad social son el resultado del aprendizaje combinatorio y de los mapas que los individuos y las sociedades elaboran respecto a qué sistemas y bajo qué modalidades de interacción participarán en la toma de decisiones que sostienen su supervivencia y bienestar. Esto resalta cómo la cultura, la educación, las tradiciones y las creencias influyen tanto en nuestras decisiones como en la forma en que nos vemos a nosotros mismos y en nuestra relación con el mundo¹¹⁴. Se pueden construir descriptivamente perfiles personales y sociales, en los que algunos sistemas ocupan posiciones centrales, mientras que otros se articulan como dependientes. La construcción de estos perfiles, basada en la centralidad de ciertos sistemas sobre otros, refleja que algunas estructuras o procesos pueden ser más dominantes o influyentes en determinadas personalidades o sociedades. En sociología, por ejemplo, se analiza cómo ciertas instituciones o normas culturales modelan las oportunidades individuales y colectivas, así como las percepciones y comportamientos¹¹⁵. En educación, se analizan los

¹¹⁴ Un arrepentimiento común entre sujetos mayores es el de haberse preocupado demasiado por las expectativas y opiniones ajenas en lugar de haber vivido con autenticidad

¹¹⁵ Un estudio realizado por Nisbett y Masuda en 2003, examinó cómo la cultura influye en la percepción visual. Descubrieron que las personas de culturas orientales tienden a prestar más atención al contexto y a las relaciones entre objetos, mientras que las personas de culturas occidentales tienden a centrarse más en los objetos individuales. Otro estudio, realizado por Becker y Mulligan en 1997, encontró que los individuos con mayor educación tienden a tomar

mecanismos de adiestramiento, engaño y manipulación. La integración de sistemas biológicos genera múltiples beneficios: vivir más tiempo, disfrutar de mayor bienestar y establecer vínculos edificantes y potenciadores. En los seres humanos, estos beneficios se potencian a través de la producción y disfrute de la cultura, el arte, el juego y la tecnología¹¹⁶. Además de la integración, podemos considerar la sofisticación, que implica un alto grado de refinamiento, habilidad o complejidad en la ejecución de estos comportamientos complejos, debido a la cantidad de información o habilidades necesarias para realizarlos de manera efectiva. Por ejemplo, la migración de las aves es un comportamiento complejo, ya que requiere coordinación, comunicación y habilidades avanzadas de navegación. Lo mismo sucede con la creación artística, las inclinaciones y prácticas sexuales y la investigación científico-tecnológica, entre muchas otras actividades que expresan el potencial creativo de los seres humanos.

l) La evolución de las estructuras sociales genera una mayor sofisticación, ambivalencia y con ello complejidad, en el comportamiento tanto de los individuos como de los grupos. A medida que estas estructuras se vuelven más complejas, también lo hacen las dinámicas de poder, los conflictos de intereses y las formas de interacción social. Este fenómeno es observable en diversas comunidades de mamíferos, donde la organización social influye notablemente en la manifestación y gestión de los comportamientos violentos y de conflicto. Por un lado, la evolución hacia estructuras sociales más complejas puede reducir la violencia directa en ciertas

decisiones más informadas y a largo plazo en temas financieros, como la planificación de la jubilación y la inversión. Un tercer estudio, publicado en "Social Science & Medicine" en 2016, examinó cómo las tradiciones culturales influyen en los comportamientos y mejores resultados relacionados con la salud, en particular el seguimiento de dietas específicas, como la mediterránea, o de prácticas de medicina, como la tradicional china.

¹¹⁶ Esta visión puede aplicarse a los derechos humanos al enfatizar que la dignidad de cada ser humano está ligada a la comunidad y a los sistemas biológicos de contacto e interacción. La interdependencia que promueve el SSC subraya la necesidad de respetar y garantizar los derechos de todos como un sistema integral.

áreas, promoviendo normas, sistemas de justicia y comportamientos cooperativos y altruistas que benefician tanto al individuo como al grupo. Estas estructuras reguladoras permiten resolver conflictos sin recurrir a la violencia física, fortaleciendo la cohesión social. Por otro lado, estas mismas estructuras sociales complejas pueden dar lugar a formas de violencia y conflicto más sofisticadas, tanto directas como indirectas. La competencia por el poder, los recursos y el estatus se manifiesta en conflictos políticos, económicos y sociales que no siempre resultan en violencia física, pero que sí pueden generar violencia simbólica y estructural. Este tipo de conflicto se expresa mediante desigualdades e injusticias que quedan incorporadas en las instituciones y normas sociales, perpetuando diferencias de poder y oportunidades.

Desde la Comunidad del SSC, denunciemos la utilización ideológica y hegemónica que algunos grupos de poder ejercen al alterar el equilibrio dinámico de los sistemas en su propio beneficio. Estas posiciones asimétricas de poder tienden a naturalizar el control desmedido, imponiendo dogmas, consignas y fanatismos a través de las instituciones educativas y los medios de comunicación, promulgando leyes parciales, manipulando al electorado, ejerciendo vigilancia invasiva y explotando desmedidamente los recursos naturales. Estas estrategias anulan el rol constructor del individuo y de los grupos que buscan el bienestar común.

El resultado de estas prácticas es la pérdida de la libertad y del deseo personal, el aumento de la conflictividad social entre adeptos y críticos al modelo vigente, el imperio de las pasiones y el fanatismo sobre la racionalidad y el incremento de actitudes egoístas y ventajistas. por encima de la solidaridad y la colaboración. Además, estas alienantes administraciones del poder perpetúan la desigualdad, el clasismo, la pobreza y el colonialismo.

Para la Comunidad del SSC, es crucial adoptar una perspectiva integral e integradora para abordar los desafíos contemporáneos.

Estos desafíos son, por naturaleza, interdisciplinarios y transdisciplinarios y requieren un paradigma que considere la interacción y el equilibrio entre todos los sistemas involucrados.

CAPÍTULO DIEZ

EL TRIPLE SOLAPAMIENTO BIDIRECCIONAL DINÁMICO

El universo es como es, no como nos gustaría que fuera, y en él no existe una ‘flecha’ lineal de la complejidad. Stephen Jay Gould critica la visión tradicional de la evolución como una progresión hacia formas “superiores” o más complejas. En su lugar, sostiene que la evolución es un proceso de diversificación que ocurre dentro de la ‘casa llena’ de la vida, sin una dirección predeterminada hacia la complejidad creciente.¹¹⁷

Siguiendo esta perspectiva, el Saber Supercomplejo (SSC) introduce el concepto de un triple solapamiento bidireccional dinámico entre los macrosistemas: micropartículas, macroscópico y biológico. Estos sistemas no evolucionan de manera independiente ni siguen una jerarquía lineal, sino que se influyen mutuamente en una red de interacciones continuas. Cada macrosistema no solo impacta a los otros, sino que también es transformado por ellos, generando comportamientos supercomplejos a partir de sus interrelaciones.

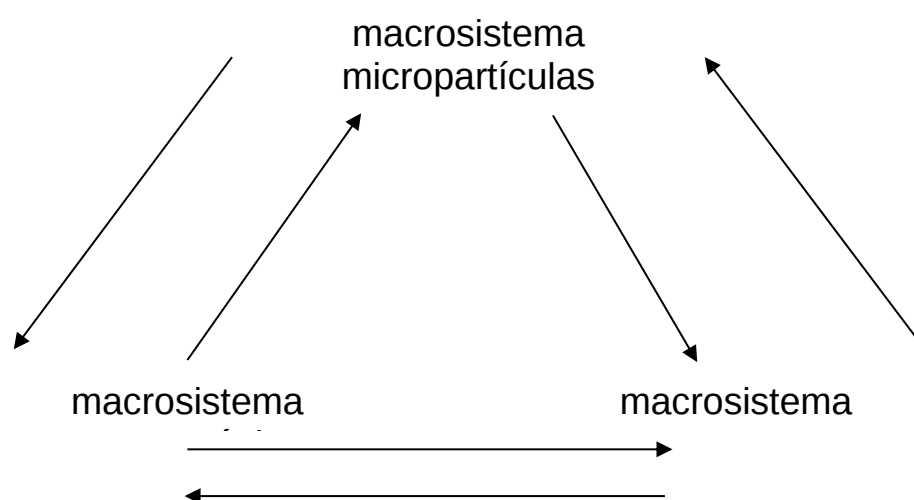
En lugar de concebir estos macrosistemas como entidades aisladas, el SSC propone que su evolución y comportamiento están profundamente entrelazados, lo que da lugar a un nivel inédito de supercomplejidad. Este enfoque reemplaza la noción de un progreso unidireccional por una dinámica emergente, en la que los sistemas se combinan, se reconfiguran y generan nuevos comportamientos sin un destino final preestablecido.

Este desarrollo nos ha obligado a preguntarnos, entre otras cuestiones: ¿Cómo influye la mecánica cuántica en la evolución de la

¹¹⁷ Esta visión desafía la idea errónea de un impulso lineal inevitable hacia una mayor complejidad, sugiriendo en cambio que la complejidad surge como un posible resultado dentro de un espectro más amplio y diverso de caminos evolutivos. Gould utiliza principios estadísticos para ilustrar que las variaciones en la complejidad están determinadas por una serie de factores en lugar de una progresión dirigida.

vida? ¿Cómo impactan las estructuras macroscópicas en el comportamiento de micropartículas y en la vida misma? ¿Puede la vida modificar la estructura del universo a escalas fundamentales?

En este capítulo, exploramos ejemplos detallados de estas interacciones a lo largo de diversas escalas de la realidad, desde partículas subatómicas hasta fenómenos biológicos y físico-químicos, y cómo estos solapamientos dinámicos amplifican la complejidad a nivel estructural y energético. Este proceso de interacción bidireccional representa, para nosotros, el primer nivel de supercomplejidad.



LO MICRO SOBRE LO MACRO

1. El macrosistema micropartículas influye significativamente en el macrosistema macroscópico, siendo sus propiedades fundamentales para comprender y predecir fenómenos a gran escala. Los principios de la mecánica cuántica no sólo gobiernan las interacciones energéticas a escala subatómica, sino que también desempeñan un papel crucial en los primeros instantes del universo, moldeando su evolución y contribuyendo a la formación de estructuras cósmicas. Características cuánticas como el principio de

exclusión de Pauli y el entrelazamiento cuántico determinan propiedades físicas esenciales de los materiales a gran escala, incluyendo la conductividad eléctrica, la resistencia, el magnetismo y la capacidad térmica. Asimismo, las configuraciones electrónicas y las interacciones químicas entre átomos y moléculas, regidas por la mecánica cuántica, posibilitan la formación de estructuras moleculares complejas y materiales con propiedades funcionales específicas. Otro fenómeno clave es la decoherencia cuántica, mediante la cual un sistema cuántico pierde sus propiedades intrínsecamente cuánticas al interactuar con otros sistemas, transicionando hacia un comportamiento clásico. Este proceso es esencial para entender cómo las leyes cuánticas, predominantes a escalas diminutas, se traducen en las propiedades emergentes y regulares del mundo macroscópico.

LO MACRO SOBRE LO MICRO

2. El macrosistema macroscópico puede ejercer una influencia significativa sobre las propiedades y el comportamiento de las micropartículas cuánticas a través de diversos mecanismos físicos y químicos. Esta influencia se manifiesta en la forma en que las condiciones de lo macroscópico imponen restricciones y determinan los estados posibles de las partículas. Los campos electromagnéticos generados por sistemas macroscópicos, como imanes o corrientes eléctricas, afectan directamente a las micropartículas cargadas. Estas partículas experimentan fuerzas específicas que alteran su trayectoria, velocidad y energía, modificando sus estados cuánticos permitidos. Por ejemplo, en un experimento de espectroscopía, los campos eléctricos y magnéticos controlados a gran escala determinan las transiciones electrónicas en átomos individuales, limitando los niveles energéticos accesibles y facilitando la observación de propiedades específicas. Asimismo, las condiciones macroscópicas de temperatura y presión son determinantes en los comportamientos

cuánticos. La energía térmica de un sistema macroscópico puede excitar partículas cuánticas, promoviendo transiciones entre estados energéticos. A bajas temperaturas, por el contrario, se generan fenómenos únicos como la formación de condensados de Bose-Einstein, donde las partículas ocupan un mismo estado cuántico, un fenómeno directamente influenciado por fenómenos térmicos. En el ámbito gravitacional, la influencia macroscópica es especialmente relevante en contextos astrofísicos. Las micropartículas que se mueven en proximidad a cuerpos masivos como estrellas o planetas se ven afectadas por la curvatura del espacio-tiempo, que altera sus trayectorias y estados cuánticos. Este efecto gravitacional puede ser crítico en fenómenos como los discos de acreción alrededor de agujeros negros, donde partículas subatómicas experimentan cambios drásticos en su comportamiento cuántico debido a la intensidad del campo gravitacional macroscópico.

LO MICRO Y LO MACRO EN INTERACCIÓN

3. Existen fenómenos complejos que emergen de la interacción y retroalimentación entre los macrosistemas de micropartículas y el macroscópico. Estos fenómenos surgen cuando los procesos a nivel de partículas elementales influyen en los comportamientos a gran escala y viceversa. Entre ellos destacan la superconductividad, el magnetismo y el condensado Bose-Einstein. La *superconductividad* es un fenómeno emergente que se observa cuando ciertos materiales se enfrían por debajo de una temperatura crítica, permitiendo la conducción de electricidad sin resistencia y, por tanto, sin pérdida de energía. Este efecto resulta de interacciones cuánticas entre electrones que los hacen comportarse como un estado colectivo, superando la dispersión ordinaria. Otro ejemplo es el *magnetismo*, especialmente en materiales ferromagnéticos como el hierro. Este fenómeno es el resultado de la alineación de los momentos magnéticos de los electrones en los átomos, que se alinean en una

misma dirección bajo determinadas condiciones, generando un campo magnético macroscópico. Por último, el *condensado de Bose-Einstein* es un estado de la materia que ocurre cerca del cero absoluto. En este estado, un grupo de átomos se enfría a temperaturas extremadamente bajas y ocupa el mismo espacio y estado cuántico, comportándose como una 'onda de materia' colectiva en lugar de partículas independientes. Estos fenómenos ilustran cómo las interacciones a nivel cuántico pueden dar lugar a propiedades emergentes en la escala macroscópica, mostrando la interdependencia fundamental entre los sistemas microscópicos y macroscópicos.

LO MACRO SOBRE LO BIO

4. La influencia del macrosistema macroscópico sobre el biológico es multifacética y resulta fundamental para comprender la emergencia de comportamientos complejos en la vida. Estas influencias abarcan una amplia gama de factores, desde condiciones de hábitats hasta interacciones que afectan profundamente la evolución y el comportamiento de los sistemas biológicos. Las variaciones en el clima, como la temperatura, la precipitación y la estacionalidad, impactan significativamente en los ecosistemas, afectando tanto la distribución como el comportamiento de las especies. Estos factores regulan los ciclos vitales y los comportamientos migratorios, influyendo en los ritmos biológicos de diversas especies. Elementos macroscópicos como la composición del suelo y la disponibilidad de nutrientes influyen directamente en el crecimiento de la vegetación y en la fertilidad de los hábitats. La topografía, la formación de montañas, los ríos y la disponibilidad de agua son factores macroscópicos que modelan los hábitats y delimitan las áreas habitables para diferentes especies. Las fuerzas físicas, especialmente la gravedad, influyen en el desarrollo estructural de los organismos vivos. La gravedad, por ejemplo, condiciona el sistema

esquelético y circulatorio de los animales y afecta el geotropismo en las plantas, determinando su orientación y crecimiento en el entorno terrestre. La energía solar y otros flujos energéticos son esenciales para la fotosíntesis y las cadenas alimentarias, sosteniendo la vida y la complejidad biológica. Los cambios geológicos y climáticos, como la deriva continental, el cambio climático y eventos catastróficos (volcanes, meteoritos), han sido motores importantes de evolución.

LO BIO SOBRE LO MACRO

5. El macrosistema biológico influye de manera profunda y multifacética sobre el macrosistema macroscópico. A través de procesos clave como la fotosíntesis, la respiración, la fijación de nitrógeno y la separación, los sistemas biológicos regulan la concentración y distribución de elementos esenciales en la atmósfera, los océanos y el suelo, modulando tanto el clima como la composición química del planeta. Los ecosistemas, en particular los bosques y los océanos, actúan como sumideros de carbono, absorbiendo y almacenando CO₂, mientras que la deforestación y la degradación de los hábitats pueden liberar grandes cantidades de carbono a la atmósfera, intensificando el cambio climático. Además, la vegetación y las interacciones biológicas con el suelo influyen en la formación y estabilidad de los suelos, en la prevención de la erosión y en la regulación del ciclo hidrológico, lo que impacta el flujo y la disponibilidad de agua en el entorno terrestre. Las plantas, al modificar la radiación solar terrestre y participar en la evapotranspiración, también afectan los comportamientos de temperatura y precipitación.

LO BIO Y LO MACRO EN INTERACCIÓN

6. Las interacciones entre lo orgánico y lo inorgánico a menudo involucran complejos comportamientos de retroalimentación. Por

ejemplo, los suelos, esenciales para el crecimiento de las plantas, se forman y mantienen a través de la interacción de procesos biológicos (como la descomposición de la materia orgánica por microorganismos) y procesos inorgánicos (como la meteorización de rocas). La estructura, composición y fertilidad del suelo son ejemplos de propiedades emergentes de estas interacciones complejas. Los ciclos del carbono, nitrógeno, fósforo y otros elementos esenciales son regulados por la interacción de organismos vivos con otros sistemas inorgánicos. El clima de la Tierra es influenciado por procesos biológicos, como el secuestro de carbono por bosques y océanos y la producción de metano por microorganismos en humedales. El cambio climático, especialmente cuando es influenciado por actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, es un ejemplo de cómo las modificaciones en estos procesos pueden tener efectos globales complejos. La biodiversidad y la estructura de los ecosistemas son el resultado de millones de años de evolución, donde la interacción entre organismos y los sistemas inorgánicos ha dado lugar a una amplia variedad de formas de vida adaptadas a diferentes nichos ecológicos. La evolución de la biodiversidad es un proceso complejo influenciado por la geología, el clima y otros factores abióticos. Estos comportamientos complejos emergentes demuestran cómo la vida y los procesos inorgánicos están intrínsecamente entrelazados, dando lugar a los sistemas dinámicos y autoorganizados que observamos en la naturaleza.

LO MICRO SOBRE LO BIO

7. La influencia del macrosistema de micropartículas sobre el macrosistema biológico es un área fascinante de estudio que destaca la interconexión entre los mundos cuántico y biológico. Aunque a primera vista los fenómenos cuánticos pueden parecer demasiado pequeños o aislados para afectar los sistemas biológicos, investigaciones recientes sugieren que los efectos cuánticos pueden,

de hecho, tener un papel significativo en ciertos procesos biológicos. Por ejemplo, en el proceso de fotosíntesis, se ha sugerido que la coherencia cuántica podría desempeñar un papel en la eficiencia con la que las plantas y ciertos microorganismos capturan la luz solar y la convierten en energía química. Además, algunos procesos enzimáticos, que catalizan reacciones químicas esenciales para la vida, podrían involucrar el fenómeno del túnel cuántico, donde las partículas subatómicas atraviesan barreras energéticas aparentemente insuperables. Por otra parte, algunos animales, como aves migratorias y ciertos tipos de bacterias, tienen la capacidad de detectar campos magnéticos, lo que les ayuda en la navegación. Investigaciones han señalado que el fenómeno conocido como magnetorrecepción, podría involucrar procesos cuánticos en moléculas específicas (criptocromos) que reaccionan a los campos magnéticos, afectando el comportamiento de los electrones de una manera que puede ser percibida por el organismo. Algunos investigadores postulan que el efecto túnel, el espín y la quiralidad están relacionados no solo con la fotosíntesis, sino también con la síntesis de proteínas, la respiración, la conexión entre neuronas, e incluso en las mutaciones. En igual sentido, algunos mecanismos de reparación del ADN podrían involucrar estados cuánticos entrelazados, que permiten a las enzimas reparadoras identificar y corregir errores en la estructura del ADN con gran precisión, aunque este es un área de investigación emergente. La capacidad de los sistemas biológicos para aprovechar fenómenos cuánticos para realizar funciones esenciales de manera eficiente, subraya la complejidad inherente y la adaptabilidad de la vida.¹¹⁸

¹¹⁸ 1.Engel et al., 2007, publicado en Nature. El artículo, titulado "Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems", mostró evidencia de transferencia de energía tipo onda, que puede ser explicada por la coherencia cuántica en los complejos de recolección de luz de las bacterias fotosintéticas. Este estudio sugiere que los efectos cuánticos podrían desempeñar un papel en la eficiencia de la fotosíntesis.

LO BIO SOBRE LO MICRO

8. La pregunta de si los cambios en las actividades biológicas pueden influir en procesos cuánticos explora un área de investigación emergente en la interfaz entre la biología y la física cuántica. Tradicionalmente, se ha considerado que los procesos cuánticos ocurren en escalas muy pequeñas y en condiciones específicas, como temperaturas extremadamente bajas o sistemas altamente aislados. Esto hace que parezca poco probable que los procesos biológicos, que ocurren a escalas más grandes y en condiciones relativamente “desordenadas”, puedan influir directamente en los procesos cuánticos. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que la situación podría ser más compleja y matizada, revelando posibles interacciones inesperadas entre lo biológico y lo cuántico. Por ejemplo, en el ámbito de la física de los sistemas vivos y el bioelectromagnetismo, se ha observado que la actividad neuronal genera campos eléctricos que, bajo ciertas condiciones, podrían afectar la orientación de los electrones en moléculas cercanas, alterando así sus propiedades cuánticas. Estos efectos pueden tener implicaciones en la transmisión de señales y en el funcionamiento sináptico en el cerebro, un área que sigue siendo objeto de estudio

2. Reacciones Enzimáticas y Túnel Cuántico. Estudio: Klinman, J.P. y Kohen, A., 2013, publicado en Chemical Reviews. El artículo, titulado "Hydrogen Tunneling Links Protein Dynamics to Enzyme Catalysis", revisa cómo el túnel cuántico de hidrógeno puede estar vinculado a la dinámica de las proteínas en la catálisis enzimática, sugiriendo que los fenómenos cuánticos pueden influir en la eficiencia y especificidad de las reacciones enzimáticas.

3. Magnetorrecepción en Aves. Revisión: Hore, P.J. y Mouritsen, H., 2016, publicado en Annual Review of Biophysics. En "The Radical-Pair Mechanism of Magnetoreception", los autores discuten el mecanismo de pares radicales, que es un proceso cuántico, como una posible explicación de cómo las aves migratorias pueden detectar campos magnéticos para la navegación. Se sugiere que ciertos procesos cuánticos en moléculas sensibles a la luz dentro de los ojos de las aves podrían estar implicados en la magnetorrecepción.

4. Olfato y Mecanismos Cuánticos. Estudio: Franco, M.I., Turin, L., Mershin, A. y Skoulakis, E.M.C., 2011, publicado en Proceedings of the National Academy of Sciences. El artículo, "Molecular vibration-sensing component in Drosophila melanogaster olfaction", presenta evidencia que sugiere que las moscas de la fruta son capaces de discriminar isótopos basándose en sus vibraciones moleculares, un fenómeno que podría implicar mecanismos cuánticos en la percepción del olfato.

activo. Otro ejemplo de esta interacción es el papel de las enzimas en reacciones químicas esenciales. Las enzimas pueden crear microentornos específicos en los que fenómenos como el túnel cuántico, en el que partículas subatómicas atraviesan barreras energéticas, ocurren con mayor probabilidad. Este fenómeno permite que las reacciones biológicas se realicen con una eficiencia y velocidad que serían imposibles sin este mecanismo y es crucial para procesos como la fotosíntesis y el metabolismo. Además, se ha propuesto que algunas moléculas biológicas, como los *criptocromos* en aves migratorias, pueden influir en partículas subatómicas mediante modificaciones del estado cuántico de los electrones en respuesta a campos magnéticos. Estos cambios en el espín de los electrones permiten a las aves detectar direcciones magnéticas, facilitando la navegación y orientándose durante sus largos desplazamientos. Otros estudios emergentes sugieren que efectos cuánticos como la coherencia y el entrelazamiento podrían estar presentes en procesos biológicos, especialmente en la fotosíntesis, donde la coherencia cuántica permite una transferencia de energía optimizada entre los complejos fotosintéticos. También se está investigando si mecanismos de reparación del ADN podrían involucrar estados cuánticos entrelazados, ayudando a las enzimas a identificar y corregir errores con gran precisión. Estos ejemplos revelan cómo los sistemas biológicos podrían estar modulando ciertos efectos cuánticos, adaptando entornos que influyen en el comportamiento de partículas subatómicas para realizar funciones esenciales de manera eficiente. La investigación en esta área ofrece una perspectiva renovada sobre la complejidad y la adaptabilidad de los organismos vivos, subrayando que la vida podría estar más profundamente entrelazada con los principios de la física cuántica de lo que se pensaba anteriormente.

LO BIO Y LO MICRO EN INTERACCIÓN

9. La tecnología actual utiliza el ADN para modificar micropartículas en diversas aplicaciones innovadoras, demostrando así cómo la interfaz biológico-cuántica contribuye a la generación de complejidad. Este enfoque aprovecha las propiedades únicas del ADN, como su capacidad para formar estructuras específicas y predecibles mediante el apareamiento de bases complementarias, lo que lo convierte en una herramienta versátil en nanotecnología y bioingeniería. Una de las aplicaciones destacadas es el uso del ADN para dirigir el ensamblaje de micropartículas en estructuras precisas. Al adjuntar secuencias de ADN complementarias a diferentes tipos de micropartículas, estas pueden ser diseñadas para ensamblarse en patrones específicos, creando estructuras con propiedades y funciones controladas y deseadas. Además, las micropartículas modificadas con ADN se emplean para transportar y liberar fármacos de manera controlada en sitios específicos dentro del cuerpo, aumentando la precisión en la administración terapéutica. Estas técnicas, que aprovechan la capacidad del ADN para formar complejos ajustes moleculares, ofrecen una vía para el desarrollo de tratamientos personalizados y minimizan los efectos secundarios. El ADN también puede ser utilizado en la construcción de micropartículas que actúan como nanomáquinas o catalizadores para reacciones químicas específicas. Estas estructuras programables permiten realizar funciones complejas a nano y microescala, con aplicaciones que van desde la síntesis química precisa hasta la reparación celular y la eliminación de sustancias tóxicas. Estas aplicaciones demuestran cómo el ADN, más allá de su papel central en la biología, se está consolidando como una herramienta poderosa en nanotecnología y bioingeniería, facilitando la creación de sistemas complejos y funcionales en la interfaz entre lo biológico y lo cuántico. Este uso del ADN en la manipulación de micropartículas abre nuevas posibilidades para la

creación de dispositivos y materiales inteli-gerentes, con un potencial significativo en la medicina, la ciencia de materiales y la biotecnología.¹¹⁹

LO MICRO, LO MACRO Y LO BIO EN INTERACCIÓN

10. La interconexión entre lo micro, lo macro y lo biológico genera fenómenos emergentes en los que la interacción entre partículas subatómicas, estructuras físicas y organismos vivos da lugar a dinámicas complejas. Un ejemplo de esta interrelación es la neuro-transmisión y su impacto en el comportamiento y la sociedad. A nivel de micropartículas, la comunicación entre neuronas depende de procesos electromagnéticos y químicos, donde la liberación de neurotransmisores como la dopamina y la serotonina ocurre mediante interacciones cuánticas en los canales iónicos de la membrana celular. Estas señales se propagan en redes neuronales dentro del cerebro, una estructura macroscópica que regula funciones cognitivas y emocionales. A nivel biológico, la actividad de estas redes influye en el comportamiento individual, modulando estados de ánimo, toma de decisiones y respuestas a estímulos del entorno. Sin embargo, la interrelación no se detiene en el organismo, sino que se expande a la dimensión social: los niveles de serotonina, por ejemplo, están implicados en la regulación de la agresividad y la cooperación, influyendo en la estabilidad de los grupos humanos y en la estructura de sociedades enteras. La dopamina, por otro lado, juega un papel clave en los circuitos de recompensa y motivación, incidiendo en fenómenos como la creatividad, la innovación tecnológica y la organización económica. Esta convergencia entre lo micro, lo macro y lo bio muestra cómo procesos neuronales y químicos pueden

¹¹⁹ Un ejemplo interesante es el de la bioluminiscencia, un área de interés en la que la interacción entre procesos biológicos y cuánticos podría tener un papel. La emisión de luz por organismos vivos, en algunos casos, puede involucrar la generación de fotones a través de reacciones químicas cuánticamente coherentes. La investigación en este campo podría arrojar luz sobre cómo los sistemas biológicos logran tales hazañas a temperatura ambiente.

traducirse en comportamientos sociales amplios, estableciendo una red de influencias en la que los cambios en un nivel pueden modificar el comportamiento colectivo.

En definitiva, hemos mostrado cómo el triple solapamiento bidireccional es una de las piedras angulares de este paradigma, mostrando la manera en la cual los macrosistemas micropartículas, macroscópico y biológico se afectan entre sí en un ciclo constante y evolutivo. A través de estas interacciones, se generan nuevas formas de organización y comportamientos que amplifican la complejidad (y la supercomplejidad), lo que transforma nuestra visión de la realidad desde lo lineal y determinista hacia una red estocástica y relacional.

CAPÍTULO ONCE

ECUACIONES DE LA COMPLEJIDAD Y DE LA SUPERCOMPLEJIDAD

El Saber Supercomplejo (SSC) ofrece un marco integrador y transdisciplinario para modelar sistemas complejos y supercomplejos, aprovechando conocimientos avanzados de física, matemáticas y teoría de sistemas. Específicamente, la incorporación de principios de mecánica cuántica y herramientas computacionales avanzadas, como la computación cuántica y algoritmos de aprendizaje automático, busca innovar en el modelado de sistemas. Esta aproximación no solo se alinea con las propuestas de vanguardia, sino también con métodos novedosos para capturar las dinámicas no lineales y las interacciones multiescala de los sistemas.

El SSC hace un esfuerzo consciente para formalizar el papel del observador, integrando la percepción y la medición directamente en la dinámica de los sistemas modelados. Esta inclusión reconoce que la observación y la intervención pueden alterar el estado del sistema, un aspecto frecuentemente subestimado en los modelos tradicionales. La modelización matemática propuesta en el SSC no solo describe y predice comportamientos en múltiples escalas -desde lo microscópico hasta lo macroscópico y lo biológico- sino que también facilita la intervención estratégica en estos sistemas para guiar su evolución de manera informada.

Este documento es un trabajo preliminar y evolutivo, sujeto a refinamiento continuo y enriquecimiento a medida que avanzan las investigaciones y experimentaciones dentro de la Comunidad del SSC. Se invita a los colaboradores y críticos a contribuir al desarrollo de este marco, asegurando que permanecerá a la vanguardia del pensamiento sobre sistemas complejos.

Desde la óptica del SSC, es crucial no solo emplear ecuaciones diferenciales sino también integrar herramientas matemáticas avanzadas que reflejan la no linealidad y la interdependencia

inherentes a los sistemas complejos. Las interacciones entre variables en estos sistemas no son uniformes ni lineales; por ende, se necesitan modelos matemáticos robustos que puedan representar dinámicas emergentes y fenómenos de autoorganización. En este contexto, el uso de ecuaciones diferenciales no lineales es esencial para modelar las interacciones dinámicas entre flujos de energía, variaciones en la morfología estructural y cambios en la conectividad temporal. Este enfoque es fundamental para revelar comportamientos ocultos y bifurcaciones que pueden influir críticamente en la evolución del sistema.

La implementación de redes de flujo energético facilita no solo una visualización estructurada y sistemática de la dinámica del sistema, sino que también permite la evaluación cuantitativa de su eficiencia y estabilidad. Adoptando principios de optimización en redes, similares a los propuestos por Barabási en el análisis de redes complejas, este método resulta ser invaluable para identificar vulnerabilidades o 'cuellos de botella' en los sistemas, donde la energía puede acumularse o disiparse ineficientemente. Esta técnica es especialmente útil para intervenir en sistemas biológicos y tecnológicos, donde la gestión eficiente de la energía es crucial para mantener la estabilidad del sistema.

Además, los modelos basados en agentes, inspirados en los trabajos de Holland sobre sistemas adaptativos complejos, añaden una dimensión analítica significativa al permitir simulaciones de interacciones tanto individuales como colectivas dentro del sistema. Al integrar parámetros evolutivos en los agentes, estos modelos son capaces de simular adaptaciones en respuesta a cambios ambientales, capturando así procesos de autoorganización esenciales para entender la dinámica de los sistemas supercomplejos. La fusión de algoritmos de aprendizaje automático con estos modelos facilita que los agentes ajusten sus comportamientos basados en experiencias

anteriores, optimizando de esta manera la evolución del sistema mediante retroalimentación adaptativa.¹²⁰

Por otro lado, los modelos de redes complejas van más allá de capturar meramente las interacciones estructurales entre componentes del sistema; también se benefician significativamente de técnicas avanzadas como el análisis de centralidad y la evaluación de la relevancia nodal. Estas herramientas, que son pilares en la teoría de redes y han sido extensivamente desarrolladas por expertos como Newman, son cruciales para identificar los elementos más influyentes dentro de un sistema, en términos de conectividad y transferencia de energía. Mediante estos análisis, se pueden detectar nodos y conexiones clave que sustentan la coherencia estructural del sistema, lo cual es vital para la formulación de estrategias en la intervención de sistemas biológicos, sociales o tecnológicos.

Además, los métodos de análisis de datos avanzados desempeñan un papel complementario e indispensable en esta modelización. Técnicas como la minería de datos y el análisis de redes complejas pueden descubrir comportamientos emergentes que serían imperceptibles mediante la simple observación directa. Inspirados en los trabajos pioneros en ciencia de la complejidad de figuras como Prigogine y Kauffman, el reconocimiento de correlaciones complejas entre flujos de energía, transformaciones estructurales y variaciones temporales establece un marco estadístico robusto para la validación de modelos y la calibración precisa de parámetros.

Finalmente, para alcanzar una perspectiva totalmente integrada, el SSC aprovecha un enfoque combinatorio que armoniza ecuaciones diferenciales, modelos de redes, análisis de datos y simulaciones basadas en agentes. Esta plataforma matemática unificada facilita una comprensión exhaustiva de los sistemas complejos,

¹²⁰ Un ejemplo concreto podría ser la modelización de ecologías energéticas en ecosistemas marinos, donde las ecuaciones no lineales describen cómo las variaciones en la temperatura del agua afectan las redes tróficas y la biomasa.

donde cada herramienta aporta una visión única que no solo enriquece la interpretación de los flujos de energía, la morfología estructural y la conectividad temporal, sino que también retro-alimenta el proceso analítico. Así, el SSC se esfuerza por desarrollar un modelo adaptativo y evolutivo que no solamente describe la dinámica de los sistemas, sino que también proporciona estrategias efectivas para su predicción y modificación.

LA ECUACIÓN DE LA COMPLEJIDAD

El SSC reconoce la necesidad de una formalización matemática rigurosa para presentar su propuesta teórica de manera efectiva. Hemos desarrollado una ecuación que captura la interdependencia entre la energía, la estructura espacial y la conectividad temporal en sistemas complejos, elementos fundamentales para entender su dinámica integral.

Sostenemos que el flujo de energía en un sistema complejo está influenciado no solo por cambios en la morfología estructural -es decir, la forma y organización del sistema- sino también por la conectividad temporal, que comprende la duración y dinámica de las interacciones internas. Inspirados en los trabajos pioneros sobre sistemas dinámicos de Prigogine y en la teoría de redes de Barabási, proponemos una relación matemática en la que el cambio en el flujo de energía resulta de una interacción multiplicativa entre estos factores, modulada por coeficientes y exponentes específicos que reflejan la complejidad de sus interacciones.

Clave de definición de componentes

1. Flujo de Energía (FE): Definido como la tasa a la cual la energía es transferida o transformada dentro del sistema, este componente se mide en unidades de potencia como vatios (W). El FE es crucial para entender cómo la energía fluye a través y es utilizada por el sistema.

2. **Morfología Estructural (ME):** Representa una cuantificación de la configuración espacial del sistema. Dependiendo del contexto, esto puede incluir parámetros como el área superficial, volumen, longitud característica o dimensión fractal. Alternativamente, puede definirse mediante métricas topológicas o geométricas, tales como el número de nodos o la distribución de conexiones, proporcionando una visión detallada de la estructura física del sistema.

3. **Conectividad Temporal (CT):** Mide cómo las interacciones entre los componentes del sistema evolucionan y se modifican con el tiempo. Esta medida puede ser expresada en términos de la duración promedio de las conexiones, la frecuencia de las interacciones o índices de persistencia temporal, y puede ser cuantificada en unidades como segundos, Hertz (frecuencia), o de forma adimensional si se normaliza.

De esta manera, la primera expresión, aún primitiva, sería:

$$\Delta FE = \Delta ME \times \Delta CT$$

- **ΔFE :** Cambio en el flujo de energía del sistema, es decir, la variación del flujo de energía en un estado de referencia o inicial.
- **ΔME :** Cambio en la morfología estructural.
- **ΔCT :** Cambio en la conectividad temporal.

Esta ecuación inicial expresa la variación del flujo de energía como el producto entre la variación de la morfología estructural y la conectividad temporal.

Representa un punto de partida para comprender la dinámica de los sistemas complejos desde los componentes FE, ME y CT, que son centrales dentro del SSC. Sin embargo, esta formulación básica supone una relación directa y lineal entre estos tres componentes, sin considerar cómo la evolución temporal y espacial de la morfología estructural y la conectividad temporal afectan la energía del sistema en diferentes escalas. Su simplicidad permite establecer un marco

básico de análisis, pero limita su capacidad de capturar comportamientos emergentes, fluctuaciones, retroalimentaciones y heterogeneidades espaciales que caracterizan los sistemas complejos.

Para superar estas limitaciones, es necesario introducir una formulación más general que incorpore la variabilidad espacio-temporal, la no linealidad y la posibilidad de escalamiento entre sistemas de diferentes magnitudes.

La ecuación propuesta para describir la dinámica de los sistemas complejos es la siguiente:

$$\frac{dFE}{dt} = k \times \int_{\Omega} \left(\frac{dME(t,x)}{dt} \cdot \frac{dCT(t,x)}{dt} \right)^{\gamma} \left(\frac{ME}{ME_0} \right)^{\alpha} \left(\frac{CT}{CT_0} \right)^{\beta} dx + \eta(t, x)$$

La ecuación describe cómo el flujo de energía evoluciona en el tiempo a partir de la interacción entre la estructura y la conectividad temporal. Estos dos factores no solo determinan la distribución y transformación de la energía dentro del sistema, sino que también regulan su estabilidad y capacidad de adaptación. La interacción entre ambos genera dinámicas complejas que pueden dar lugar a comportamientos emergentes y a cambios en la organización del sistema.

La variabilidad inherente en los sistemas complejos no se manifiesta de manera uniforme ni lineal, dado que su comportamiento es el resultado de múltiples factores que interactúan de forma impredecible. La incorporación del exponente γ en nuestro modelo matemático introduce efectos no lineales significativos, permitiendo que pequeñas variaciones en la estructura o en la conectividad puedan tener impactos amplificados o atenuados, dependiendo del valor específico de γ . Esto enfatiza la sensibilidad del sistema a condiciones iniciales o cambios menores, resaltando la importancia de entender estas dinámicas para predecir y gestionar la evolución del sistema.

Los coeficientes α y β , por otro lado, modulan la influencia relativa de la morfología estructural y la conectividad temporal, respectivamente. Estos parámetros son cruciales para determinar cómo estos componentes afectan el flujo de energía a través de diferentes escalas, proporcionando un mecanismo para ajustar el modelo según las necesidades específicas del sistema analizado. Además, la inclusión del término estocástico $\eta(t,x)$ añade un componente de incertidumbre al modelo, capturando la influencia de fluctuaciones aleatorias internas y factores externos que pueden alterar la trayectoria del sistema de maneras inesperadas.

Una de las fortalezas destacadas de este modelo es su escalabilidad y su independencia de unidades específicas, gracias al uso de factores adimensionales. Esta característica permite que el modelo se adapte a sistemas de naturaleza variada, desde pequeñas redes neuronales hasta grandes ecosistemas, sin comprometer su coherencia matemática o conceptual. Este modelo es particularmente útil para examinar transiciones de fase en los sistemas, donde la combinación de la morfología estructural y la conectividad temporal puede alcanzar umbrales críticos, provocando reorganizaciones abruptas del sistema y estableciendo nuevos equilibrios energéticos.

El modelo permite simular cómo las alteraciones en las redes neuronales afectan la propagación de actividad eléctrica en el cerebro, facilitando investigaciones sobre plasticidad sináptica y procesos de aprendizaje. Se podría utilizar para evaluar cómo la biodiversidad y la estructura de los ecosistemas influyen en los flujos energéticos entre las especies, esencial para estudios sobre la resiliencia y la estabilidad de los ecosistemas. Además, ofrece un marco para analizar la propagación de información en redes dinámicas, permitiendo estudiar cómo las interacciones temporales influyen en la difusión de ideas y recursos. Por último, es aplicable en el estudio de procesos autoorganizados donde las interacciones espaciales y temporales son determinantes en la evolución de los sistemas, proporcionando una

base para describir fenómenos emergentes a distintos niveles de complejidad.¹²¹

En definitiva, la adopción y promoción del modelo matemático del SSC impulsa la vanguardia en investigación y desarrollo y fortalece la capacidad estratégica de una organización para anticipar y adaptarse a los cambios, gestionar recursos de manera efectiva y explorar nuevas oportunidades.

LA ECUACIÓN DE LA SUPERCOMPLEJIDAD

La ecuación de la Supercomplejidad emerge como una respuesta a la necesidad de formalizar matemáticamente conceptos que, hasta ahora, se han explorado principalmente en el ámbito filosófico. Mientras que se ha formulado una ecuación para abordar la complejidad, es igualmente crucial desarrollar una específica para la supercomplejidad que capture los solapamientos entre macrosistemas, la actividad cognitiva y constructiva del observador, así como el impacto de los instrumentos de medición y medición. La ausencia de esta formalización dejaría el concepto relegado a una mera teoría sin aplicaciones prácticas en el análisis y modelado de sistemas intrincadamente interconectados. La propuesta de esta ecuación específica representa un avance crucial, proporcionando un marco cuantificable que no solo permite describir fenómenos dentro de sistemas altamente interconectados, sino también predecir y potencialmente manipular sus dinámicas complejas.

El solapamiento entre los macrosistemas puede representarse mediante un coeficiente que mida la intensidad y naturaleza de las

¹²¹ El modelo introduce términos estocásticos y coeficientes que permiten modelar la incertidumbre y las fluctuaciones aleatorias, características cruciales para la planificación en ambientes inciertos y en rápida evolución. La capacidad de anticipar y adaptarse a cambios abruptos o transiciones de fase puede ser un factor decisivo en la gestión del riesgo operacional y estratégico. Se puede implementar el modelo en sistemas de simulación y pronóstico para mejorar la gestión del riesgo en operaciones críticas, especialmente en sectores como la energía y las finanzas. Dado que el modelo tiene aplicaciones en múltiples disciplinas, ofrece una excelente oportunidad para colaboraciones interdisciplinarias que pueden abrir nuevas áreas de investigación y desarrollo. Estas colaboraciones pueden llevar a innovaciones disruptivas y la creación de nuevos mercados.

interacciones entre ellos, capturando la forma en que los sistemas complejos se interpenetran e influyen mutuamente. La actividad del observador debe incorporarse como un factor clave, dado que su percepción, interpretación y construcción de la realidad afectan la forma en que los sistemas son estudiados y comprendidos. Este componente no solo mide el impacto del observador en la percepción del sistema, sino que también introduce una dimensión activa en la que el sujeto cognitivo interviene y modifica su objeto de estudio. Los instrumentos de observación y medición constituyen otra variable fundamental, ya que determinan la precisión, el alcance y la profundidad con la que se puede analizar un sistema. Estos instrumentos amplían el conocimiento disponible, permitiendo registrar fenómenos que de otro modo permanecerían inaccesibles, pero también introducen limitaciones e interpretaciones sesgadas dependiendo de su capacidad y resolución.

La ecuación propuesta para la supercomplejidad es la siguiente:

$$\frac{dS}{dt} = k \times \int_{\Omega} \left(\frac{dME(t,x)}{dt} \cdot \frac{dCT(t,x)}{dt} \right)^{\gamma} \left(\frac{ME}{ME_0} \right)^{\alpha} \left(\frac{CT}{CT_0} \right)^{\beta} dx \times O \times C \times I + \eta(t,x)$$

La ecuación de la supercomplejidad introduce nuevos elementos que amplían la comprensión de la dinámica de los sistemas complejos al incorporar el papel del observador, el coeficiente de solapamiento entre macrosistemas y la influencia de los instrumentos de medición. Estos factores permiten modelar la relación entre los sistemas y quienes los estudian, mostrando cómo la observación y la intervención afectan la evolución del sistema en el tiempo. A diferencia de la ecuación de la complejidad, que se enfoca en la interacción entre morfología estructural, conectividad temporal y flujos de energía, la ecuación de la supercomplejidad reconoce que ningún sistema puede estudiarse sin considerar el impacto del sujeto cognoscente y las herramientas con las que acceden a la información.

El observador, representado por el término O , es un componente clave en la ecuación, ya que su percepción, interpretación y marco teórico afectan la forma en que el sistema es modelado y comprendido. En la supercomplejidad, no se supone que el conocimiento es absoluto o independiente del sujeto que lo estudia, sino que se reconoce que toda observación es una construcción en la que influyen las expectativas, la intencionalidad y la capacidad del observador para distinguir diferentes comportamientos en el sistema. Cuando el valor de O es alto, significa que la actividad del observador tiene una influencia significativa en la dinámica del sistema, lo que puede manifestarse en cambios en la interpretación de los datos o en intervenciones que alteran la estructura misma del sistema. En cambio, cuando O es bajo, el sistema evoluciona con menor dependencia de la actividad del sujeto que lo analiza, reflejando una mayor autonomía de su dinámica interna.

El coeficiente de solapamiento entre macrosistemas, denotado como C , mide la intensidad de la interconexión entre los distintos sistemas que interactúan en un entorno supercomplejo. En el universo, los sistemas no existen de manera aislada, sino que están en constante interacción y solapamiento, generando estructuras que dependen de múltiples niveles de organización. Este coeficiente permite cuantificar la medida en que los sistemas se afectan mutuamente, lo que es especialmente relevante en la modelización de fenómenos en los que distintas escalas se influyen entre sí. Cuando C es alto, significa que las interacciones entre sistemas están profundamente imbricadas, de modo que los cambios en un nivel pueden desencadenar efectos en otros. Un ejemplo de esto puede encontrarse en la relación entre la actividad neuronal, la cognición y las dinámicas sociales, donde procesos que ocurren en una escala microscópica pueden repercutir en sistemas organizacionales de mayor magnitud. Si C es bajo, el solapamiento entre sistemas es reducido, lo que implica que los efectos de uno sobre otro son menos

pronunciados y las dinámicas se mantienen relativamente independientes.

Los instrumentos de medición y modelización, representados por I , juegan un papel determinante en la construcción del conocimiento dentro de la supercomplejidad. Toda observación se realiza a través de herramientas que condicionan el acceso a la información y determinan el nivel de detalle y precisión con el que se puede analizar un sistema. Cuando I es alto, significa que los instrumentos de observación son altamente positivos y amplían el conocimiento del sistema, permitiendo registrar fenómenos con mayor precisión y profundidad. Sin embargo, si I es bajo, la capacidad de observación es limitada, lo que puede llevar a interpretaciones sesgadas.

La incorporación de estos términos en la ecuación de la supercomplejidad permite formalizar matemáticamente el vínculo entre el sistema estudiado y el proceso de construcción del conocimiento. No solo se modela la evolución del sistema en función de su estructura y conectividad, sino que también se incluye la influencia de quienes lo observan y de las herramientas con las que acceden a su dinámica. Esto transforma el enfoque de la modelización, alejándose de una visión determinista que presupone la existencia de un conocimiento objetivo e independiente de la observación, y acercándose a una perspectiva en la que la realidad no es un dato absoluto, sino una construcción que surge de la interacción entre el sistema, el observador y los métodos empleados para su estudio.

A diferencia de la ecuación de la complejidad, que se centra primordialmente en las interacciones entre morfología, conectividad estructural temporal y flujos de energía, la ecuación de la supercomplejidad enfatiza que ningún sistema puede ser completamente comprendido sin considerar la influencia integral del sujeto cognoscente y las herramientas utilizadas para acceder a la información. Este enfoque no solo profundiza en la descripción de sistemas supercomplejos, sino que también refuerza la necesidad de

una metodología que sea tanto reflexiva como expansiva en su alcance.

COMPLEJIDAD Y SUPERCOMPLEJIDAD CUÁNTICAS

La incorporación de computación cuántica en el marco del SSC implica reformulaciones matemáticas que aprovechen la superposición, el entrelazamiento y la evolución probabilística. A continuación, se presentan las modificaciones clave en las ecuaciones de la complejidad y la supercomplejidad, considerando la posibilidad de describir sistemas con mayor precisión y eficiencia computacional.¹²²

En este desarrollo, traducimos los principios fundamentales del SSC al formalismo de la mecánica cuántica. El SSC define la complejidad como el resultado de la interacción entre tres componentes: los flujos de energía (FE), la morfología estructural (ME) y la conectividad temporal (CT). En la versión cuántica, estos componentes se expresan mediante operadores (como $\hat{H}_{ME}$ y $\hat{H}_{CT}$) que actúan sobre funciones de onda (Ψ), representando estados del sistema en superposición y evolución. La ecuación resultante ya no describe valores deterministas, sino distribuciones de probabilidad dinámicas, donde los estados del sistema pueden colapsar o reconfigurarse ante la acción de un observador, un instrumento o un evento de solapamiento. Así, el lenguaje SSC mantiene su estructura tridimensional (FE, ME, CT), pero se reinterpreta desde una lógica cuántica que admite estados múltiples, colapsos, ruido estocástico y transformaciones emergentes.

En una versión cuántica, debemos reemplazar la descripción clásica de variaciones diferenciales y productos escalares por una representación matricial y de operadores, utilizando el formalismo de mecánica cuántica.

¹²² Repetimos lo antes dicho en cuanto a la provisoriedad y al sentido ilustrativo de esta presentación y sus correspondientes fórmulas. Se trata de un borrador que está siendo perfeccionado constantemente.

La ecuación modificada sería:

$$\hat{H}\Psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi$$

donde:

- $\hat{H}$ es el hamiltoniano del sistema, que ahora incluye términos dependientes de la morfología estructural y la conectividad temporal.
- Ψ es la función de onda cuántica de la complejidad, que describe la evolución probabilística del sistema.
- $i\hbar \partial\Psi/\partial t$ modela la evolución temporal de la complejidad en términos de estados cuánticos superpuestos.

El término de ruido cuántico $\eta_q(t, x)$ representa las fluctuaciones probabilísticas inherentes a la evolución de un sistema supercomplejo. A diferencia de los enfoques clásicos, donde el ruido se modela como perturbación gaussiana o ruido blanco, en el SSC este término puede incorporar fluctuaciones emergentes propias del solapamiento de sistemas, de la acción del observador o del propio desorden interno de un sistema. Este enfoque introduce un tipo de "ruido relacional", que no sólo perturba, sino que reconfigura la dinámica en función de interacciones contextuales. Expandiendo este formalismo en términos del SSC, la ecuación cuántica de la complejidad se escribiría como:

$$\hat{H}\Psi(FE, ME, CT) = k \times \int_{\Omega} (\hat{M}E \cdot \hat{C}T)^{\gamma} dx + \eta_q(t, x)$$

donde:

- $\hat{H}ME$ y $\hat{H}CT$ son operadores cuánticos asociados a la morfología estructural y la conectividad temporal.

- $\eta_q(t, x)$ es un término de ruido cuántico, que introduce fluctuaciones probabilísticas en la evolución del sistema.
- La integral en el espacio Ω se mantiene, pero ahora se evalúa en términos de distribuciones de probabilidad cuánticas en lugar de valores deterministas.

Esta modificación permite que la complejidad ya no sea una cantidad fija, sino un estado cuántico con múltiples posibilidades superpuestas, evolucionando según principios de interferencia y entrelazamiento.

Por otra parte, la ecuación de la supercomplejidad, en su versión clásica, incorpora el papel del observador, los instrumentos y el solapamiento entre los macrosistemas. Si consideramos que la supercomplejidad es un estado que depende de la interacción entre el sistema y el observador, debemos reformular la ecuación utilizando colapso de función de onda y mediciones cuánticas. La ecuación mejorada sería:

$$\hat{H}_S \Psi(S) = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(S)$$

donde:

- $\hat{H}_S$ es el hamiltoniano de la supercomplejidad, que ahora incluye la acción del observador y los instrumentos de medición.
- $\Psi(S)$ representa un estado cuántico de la supercomplejidad, que puede colapsar en diferentes valores según la medición.
- $i\hbar \frac{\partial \Psi(S)}{\partial t}$ describe la evolución probabilística de la supercomplejidad en el tiempo.

Expandiendo esta formulación:

$$\hat{H}_S \Psi(S) = k \times \int_{\Omega} (\hat{M}E \cdot \hat{C}T)^r dx \times \hat{O} \times \hat{C} + \hat{I} + \eta_q(t, x)$$

donde:

- $\hat{H}O$ y $\hat{H}C$ son operadores cuánticos que modelan el impacto del observador y el solapamiento de sistemas.
- $\hat{H}I$ representa la influencia de los instrumentos de medición como operadores cuánticos.
- El término estocástico cuántico $\eta_q(t, x)$ introduce variabilidad aleatoria en la evolución del sistema.¹²³

El enfoque cuántico del SSC encuentra paralelismos con diversas teorías avanzadas en física, neurociencias y sistemas complejos. Algunos estudios y autores clave en estas áreas incluyen:

- **Roger Penrose:** Su trabajo en 'The Emperor's New Mind' y 'Shadows of the Mind' sugiere que la conciencia podría estar basada en procesos cuánticos en los microtúbulos neuronales, lo que resuena con la idea del SSC sobre la interacción entre el observador y la estructura del sistema.
- **Stuart Kauffman:** En 'The Origins of Order', Kauffman modela la autoorganización en sistemas biológicos utilizando redes booleanas y dinámicas no lineales, un marco que se puede expandir mediante computación cuántica en el SSC.
- **David Deutsch:** En 'The Fabric of Reality', Deutsch presenta la computación cuántica como una forma superior de procesar información, lo que puede aplicarse en nuestro software para modelar superposiciones de estados en la evolución de sistemas supercomplejos.
- **Seth Lloyd:** En 'Programming the Universe', Lloyd plantea que el universo opera como una computadora cuántica, lo que refuerza la

¹²³ En el SSC, el colapso de la función de onda no se interpreta como la determinación final de un estado, sino como un acto de reconfiguración estructural del sistema, condicionado por nuevas interacciones, relaciones o condiciones de contorno. El colapso no es clausura, sino transición: una reordenación temporal, morfológica y energética en función del solapamiento entre sistemas complejos.

idea de que la evolución de sistemas supercomplejos puede modelarse mediante operadores cuánticos.

Esta presentación permite capturar la supercomplejidad como un estado cuántico en evolución, donde el observador, el solapamiento de sistemas y los instrumentos de medición influyen en la estructura del sistema. La integración de computación cuántica con nuestro software (en construcción) permitiría simular estos efectos con mayor precisión y representar múltiples configuraciones posibles de los sistemas en tiempo real. Además, la combinación de estos modelos con enfoques matemáticos y físicos avanzados refuerza el carácter innovador del SSC, permitiéndole trascender la descripción convencional de la complejidad y adentrarse en un marco en el que la supercomplejidad puede ser no sólo comprendida, sino manipulada y simulada con herramientas de vanguardia.

LA INCLUSIÓN DE LA ESPECULARIDAD Y LA MULTIAPARIENCIA

Como veremos más adelante, definimos el proceso de transformación institucional y empresarial como especular (verse en un espejo) y respetuoso de las multiapariencias (las diferentes perspectivas que tienen del sistema todos los actores involucrados), ¿estas ecuaciones dan lugar a la inclusión de lo cualitativo?

La inclusión de la especularidad y la multiapariencia en los sistemas institucionales y empresariales permite modelar la percepción que tienen los actores involucrados en la transformación de dichos sistemas. Este enfoque considera que la evolución de una organización no es solo un cambio estructural, sino también una reconfiguración de las percepciones internas y externas. Para lograrlo, es necesario incorporar una función de percepción especular $R_i(t)$ que representa cómo un nodo percibe su propia influencia reflejada en los otros nodos del sistema. Esta función permite modelar la autoimagen del nodo en relación con la percepción de los

demás, generando una capa de subjetividad en la transformación supercompleja del sistema.¹²⁴

Cada nodo, al modificar su comportamiento en función de cómo es percibido, introduce una retroalimentación perceptiva que ajusta su morfología estructural y su conectividad temporal. De este modo, los sistemas no solo cambian de manera objetiva, sino también en función de cómo son interpretados. La coexistencia de múltiples perspectivas dentro del sistema permite modelar una realidad en la que los actores ajustan sus decisiones según su autoimagen y la imagen percibida por otros. Para incorporar esta matriz de percepción $P_{ij}(t)$ en la ecuación de la supercomplejidad, es necesario definir la relación entre cada nodo y las percepciones que otros nodos tienen sobre él en un instante t .¹²⁵

El término $P_{ij}(t)$ representa cómo un nodo cree que el nodo lo percibe dentro del sistema. En cambio, $P_{ii}(t)$ es la autopercepción del nodo i , es decir, cómo se ve a sí mismo en el sistema. Cuando $P_{ij}(t)$ no es igual a $P_{ii}(t)$, se genera un desequilibrio perceptivo que puede desencadenar ajustes en la morfología estructural y la conectividad temporal. De esta manera, la ecuación corregida de la supercomplejidad que incluye la percepción especular y la multiapariencia queda formulada como:

¹²⁴ La inclusión de la percepción especular $R_i(t)$ y la matriz de percepción $P_{ij}(t)$ permite integrar aspectos cualitativos, como las percepciones subjetivas de los actores, en un modelo cuantitativo. Esto es crucial porque, en sistemas sociales y organizacionales, las percepciones y las interacciones subjetivas suelen ser tan importantes como los cambios estructurales objetivos. Al incluir estas dimensiones, la fórmula captura mejor la complejidad inherente a estos sistemas.

¹²⁵ Estudios previos han explorado la relación entre percepción y transformación organizacional dentro del campo de la complejidad. Investigaciones en psicología organizacional han evidenciado que la autoimagen de una institución influye en su capacidad de adaptación y resiliencia. En el ámbito de la sociología de sistemas, Luhmann analizó el papel de las percepciones en la auto-reproducción de sistemas organizacionales, destacando su impacto en la evolución de las estructuras sociales. Por su parte, estudios en gestión estratégica han resaltado la importancia de la interpretación subjetiva en la toma de decisiones y en la dinámica de transformación organizacional. Estas investigaciones refuerzan la noción de que la percepción no solo es un elemento central en la evolución de los sistemas complejos, sino que su integración en modelos formales puede mejorar la comprensión y la intervención en contextos empresariales, comunitarios e institucionales.

$$\frac{dT}{dt} = k \times \int_{\Omega} \left(\frac{dME(t, x)}{dt} \cdot \frac{dCT(t, x)}{dt} \right) \gamma \left(\frac{ME}{ME_0} \right)^{\alpha} \left(\frac{CT}{CT_0} \right)^{\beta} dx \times O \times C + \sum_i \sum_j P_{ij}(t) (P_{ii}(t) - P_{ij}(t)) + I + \eta(t, x)$$

Donde $\sum_i \sum_j P_{ij}(t) (P_{ii}(t) - P_{ij}(t))$ representa la disrupción perceptiva en el sistema, indicando cómo las diferencias entre la autoimagen y la imagen percibida afectan la transformación del sistema. Si en un sistema $P_{ii}(t) = P_{ij}(t)$ para todos los nodos, no hay disrupción perceptiva y la transformación del sistema se mantiene predecible, alineada con la percepción de sus actores. Por el contrario, si en muchos nodos, la sociedad, empresa o institución entra en una fase de reajuste, ya que las percepciones no coinciden. Este desfase genera nuevas dinámicas de cambio que pueden impulsar transformaciones estructurales y funcionales.¹²⁶

Si una empresa considera que es transparente y eficiente, pero sus empleados la perciben como burocrática y rígida, la diferencia $P_{ii}(t) - P_{ij}(t)$ producirá ajustes en la organización. De esta manera, la ecuación de la supercomplejidad con la incorporación de la percepción especular y la multiapariencia permite modelar de manera más precisa la dinámica de transformación en sistemas comunitarios, empresariales e institucionales.¹²⁷

Finalmente: para el SSC, las ecuaciones de la complejidad y supercomplejidad no sólo permiten describir y medir la dinámica de sistemas complejos, sino también comparar, simular, intervenir y transformar organizaciones, comunidades y entornos biológicos y tecnológicos. Su mayor fortaleza reside en la capacidad de integrar variables objetivas y subjetivas, adaptándose a múltiples escalas y contextos. La representación visual mediante los MDA (mapas dinámicos y adaptativos) y las simulaciones COMPLEX CUORE hace

¹²⁶ La disrupción perceptiva no siempre es negativa. A veces es el motor para la innovación y la transformación positiva.

¹²⁷ Podemos incluir otros comportamientos cualitativamente medibles en la ecuación de la supercomplejidad siguiendo el mismo modelo que utilizamos para la percepción especular. Esto se logra incorporando nuevas matrices de interacción que capturen cualidades subjetivas y emergentes del sistema.

posible que el usuario intuya, analice y prediga el comportamiento sistémico de modo riguroso pero también creativo y participativo. Todo esto, con la advertencia epistemológica de que cada medición es siempre una construcción situada, perfectible y enriquecible por la interacción con los propios sistemas y actores involucrados.

CAPÍTULO DOCE

EL SOFTWARE DEL SABER SUPERCOMPLEJO: EL “COMPLEX CUORE”

El COMPLEX CUORE es una herramienta avanzada en desarrollo por nuestro equipo para manejar y analizar sistemas de alta complejidad bajo los principios del Saber Supercomplejo (SSC). Se trata de un instrumento poderoso que impulsa análisis profundos y ofrece soluciones innovadoras a problemáticas diversas, transformando la manera en que organizaciones e investigadores abordan desafíos complejos.

Este software permite la visualización y manipulación de redes tetradimensionales –tres dimensiones espaciales más una temporal– facilitando una comprensión detallada de la estructura y dinámica de sistemas complejos. Representa estructuras morfológicas como formas arbóreas, radiales y fractales, mostrando su evolución en el tiempo. Al observar cómo los cambios en un nodo afectan a múltiples nodos conectados, es posible ver la propagación de efectos a través de la red en tiempo real. Esto revela fenómenos que sólo se manifiestan al analizar el sistema completo en movimiento, enriqueciendo la comprensión de las interacciones internas y comportamientos emergentes.¹²⁸

¹²⁸ Es crucial destacar que las morfologías estructurales no existen como entidades objetivas y estáticas, sino como configuraciones dinámicas que dependen de la interacción y de la percepción de quienes participan en el sistema. Los actores involucrados construyen mapas individuales y colectivos de la estructura, que reflejan no solo su posición dentro del sistema, sino también su interpretación subjetiva de las relaciones y flujos de energía. Así, diferentes actores pueden visualizar una organización de maneras divergentes y todas esas percepciones pueden ser igualmente válidas dentro del sistema. Este fenómeno no solo subraya la riqueza y la pluralidad de los sistemas complejos, sino que también pone en evidencia que su comprensión requiere integrar tanto su configuración estructural como los mapeos y cronometrajes de quienes los habitan.

El SSC propone un desplazamiento fundamental en la forma en que concebimos la inteligencia, el conocimiento y la intervención en sistemas complejos. Mientras que las inteligencias artificiales actuales operan mayormente sobre morfologías reticulares y lógicas bidimensionales -planas, correlacionales y estadísticas-, el SSC impulsa una morfología laminar-topológica, tridimensional o incluso tetradimensional, que incorpora profundidad, estratificación y dinamismo. Es el pasaje del plano al volumen, del eje XY al XYZ, del cuadrado al cubo en movimiento. Esta transformación no es solo visual o espacial: implica una nueva forma de leer la realidad como sistema vivo, atravesado por capas de sentido, niveles de energía, comportamientos temporales y vínculos emergentes. Allí donde una IA tradicional detecta conexiones entre datos, el SSC reconoce flujo, forma y duración, integrando la energía (FE), la morfología estructural (ME) y la conectividad temporal (CT). Este salto dimensional permite no solo describir sistemas con mayor riqueza, sino intervenir sobre ellos con una precisión ética y adaptativa mucho más profunda.

El COMPLEX CUORE se enfoca en presentar simulaciones multiescenario y análisis contrafactual, explorando una gama de posibles consecuencias de diversas estrategias. Esta capacidad permite anticipar impactos, identificar riesgos y oportunidades ocultas, minimizando consecuencias negativas y maximizando oportunidades de éxito. Al actualizar los modelos según las condiciones actuales del sistema, facilita respuestas ágiles en contextos de alta incertidumbre, explorando múltiples "futuros posibles" bajo diferentes condiciones iniciales o intervenciones, lo cual es esencial para la toma de decisiones estratégicas.

Además, ayuda a entender cómo el sistema responde ante perturbaciones, identificando vulnerabilidades y fortaleciendo su capacidad de recuperación. Calcula el flujo y la eficiencia energética en las conexiones, optimizando el uso de recursos en sistemas biológicos

y tecnológicos. Permite trazar ciclos de vida y anticipar fases críticas, adaptando intervenciones según necesidades cambiantes. Facilita la colaboración en tiempo real entre expertos de diferentes disciplinas, integrando diversas perspectivas y conocimientos en un modelo unificado, lo que enriquece la construcción del modelo y promueve soluciones integrales. Incluye un monitor que permite medir y ajustar niveles de variabilidad en el sistema, aspecto vital para estudiar y modelar sistemas complejos (y supercomplejos), proporcionando una comprensión más completa de la dinámica interna.

El software ofrece múltiples beneficios. Proporciona un diagnóstico continuo, identificando puntos críticos, áreas de mejora y oportunidades para potenciar el desempeño. Permite anticipar el impacto de decisiones estratégicas en diferentes sistemas de la organización, ofreciendo una representación clara de la dinámica organizacional, lo que fomenta la comunicación, la transparencia, la colaboración y la alineación entre equipos. Ayuda a diseñar estrategias que optimicen la energía, refuercen vínculos y equilibren prácticas organizativas, contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia.

Ideal para investigadores y analistas que necesitan construir y simular escenarios para predecir comportamientos y probar intervenciones, el COMPLEX CUORE genera visualizaciones de datos dinámicas, creando mapas que muestran cómo cambian relaciones y nodos a lo largo del tiempo. Automatiza el análisis de datos, optimiza procesos y predice resultados en sistemas complejos a través del diseño de algoritmos personalizados. Ayuda a prever consecuencias no intencionadas y a optimizar estrategias, permitiendo simular diferentes escenarios de intervención.¹²⁹

¹²⁹ Un aspecto interesante en el que estamos trabajando es el de las multipercepciones de los actores institucionales o empresariales. Sobre todo en el caso de marcadas diferencias en la percepción de la estructura del sistema. La idea es incluir indicadores de convergencia, es decir, métricas que muestren el grado de alineación entre percepciones y la estructura formal; notificaciones sobre áreas donde la divergencia podría convertirse en un obstáculo significativo y simulaciones de escenarios en donde diferentes niveles de consenso o disenso impactan en los objetivos del sistema.

Incorpora, además, técnicas avanzadas de simulación gráfica y análisis de redes multicapa, utilizando una proyección láser 4D para visualizar dinámicamente los vínculos entre nodos en tiempo real, analizados bajo los principios del SSC. El modelado tetradimensional, que responde a tres ejes espaciales y uno temporal, permite visualizar interacciones y evolución en el tiempo. La animación 4D enriquece la comprensión de interacciones complejas y comportamientos emergentes al mostrar cómo las formas y nodos evolucionan y se relacionan en tiempo real. El software intenta generar en los participantes un efecto “espejo” mostrando dinámicas, flujos de energía, conexiones y comportamientos del sistema que a menudo son difíciles de percibir en la rutina diaria.

En general, se puede decir que las funciones del software son la de construir Mapas Dinámicos y Adaptativos (MDA) que tendrán finalidades descriptivas, proyectivas, evolutivas y de intervención. Distinguimos dos tipos de Mapas Dinámicos Adaptativos (MDA): el MDA global descriptivo, que representa la totalidad de los sistemas, variables y conexiones relevantes para comprender la complejidad de un fenómeno; y el MDA estratégico, que sintetiza los nodos más críticos -ya sea por su alta actividad energética, relacionalidad o vulnerabilidad- permitiendo focalizar el análisis y orientar la intervención según los objetivos y necesidades del sistema.

El COMPLEX CUORE no solo funcionará como el espejo, sino también como un mapa interactivo que permitirá explorar escenarios y simular el impacto de posibles ajustes en el sistema. Esto no solo ayuda a la observación, sino que también abre caminos hacia la autorregulación. Esta lógica no jerarquiza por energía, sino por capacidad de integrar estabilidad y emergencia en clave relacional. Así, COMPLEX CUORE no solo representa nodos y flujos, sino que valora morfologías según su funcionalidad sistémica combinada.

En esencia, este software es el "corazón supercomplejo" de una organización. Es una herramienta indispensable para empresas y equipos de investigación que buscan adaptarse y prosperar en entornos altamente cambiantes. Al implementar este software, es posible no solo responder a las condiciones actuales, sino también anticiparse y moldear futuros desarrollos, maximizando el potencial evolutivo y estratégico de los sistemas estudiados.

La implementación de COMPLEX CUORE en sistemas operativos transformará significativamente la forma en que se abordan problemas complejos, permitiendo anticipar y moldear futuros desarrollos. Su enfoque en visualización avanzada, simulaciones multi-escenario y colaboración interdisciplinaria lo convierte en una plataforma integral y versátil para el análisis profundo y la intervención efectiva en sistemas complejos.¹³⁰

Por último, la compatibilidad entre el COMPLEX CUORE y las ecuaciones de complejidad y supercomplejidad es alta y ofrece una oportunidad valiosa para enriquecer tanto el software como la aplicación práctica de los conceptos del SSC. Al combinar una base matemática sólida con herramientas avanzadas de modelización y visualización, se potencia la capacidad para comprender, predecir y actuar sobre sistemas complejos en diversas áreas. Integrar las ecuaciones en el COMPLEX CUORE permitirá a los usuarios no solo visualizar y simular sistemas complejos, sino también cuantificar y analizar las relaciones fundamentales que los gobiernan. Esto contribuirá a decisiones más informadas y estrategias más efectivas,

¹³⁰ A diferencia del GIGA-Mapping, que presenta un enfoque estático o semi-estático en la representación de sistemas complejos mapas bidimensionales y cualitativos, el COMPLEX CUORE opera sobre un paradigma completamente dinámico y adaptativo. Mientras el GIGA-Mapping permite visualizar relaciones entre múltiples factores en contextos específicos, el COMPLEX CUORE va más allá al representar la evolución temporal y la emergencia de comportamientos en tiempo real y puede identificar los nodos que permanecen activos y generan mayores emergencias, seleccionando dinámicamente las variables más influyentes. Esto permite construir mapas dinámicos adaptativos (MDA) que no solo explican el estado actual del sistema, sino que también anticipan posibles transformaciones futuras.

alineándose con el objetivo del SSC de proporcionar un marco integral y aplicable a múltiples disciplinas.¹³¹

¹³¹ La computación cuántica puede fortalecer la ecuación de la supercomplejidad y mejorar COMPLEX CUORE en varios niveles. Desde simulación avanzada de solapamiento de macrosistemas, hasta optimización cuántica de redes dinámicas y visualización 4D acelerada, este modelo permitirá modelar la interacción entre sistemas, observadores e instrumentos de medición con una precisión y velocidad inalcanzables para la computación clásica. COMPLEX CUORE podría convertirse en el primer software 4D de simulación supercompleja basado en computación cuántica, permitiendo no sólo visualizar, sino intervenir y modificar sistemas supercomplejos en tiempo real.

CAPÍTULO TRECE

LA TRANSFERENCIA DEL SABER SUPERCOMPLEJO: EL PROGRAMA DE TRANSFORMACIÓN Y POTENCIACIÓN INSTITUCIONAL, EMPRESARIAL Y DE COMUNIDADES INTERMEDIAS

Una vez que se comienza a ver la realidad a través del solapamiento bidireccional, la conectividad temporal y los flujos de energía, ya no se puede volver a pensar de forma lineal y reduccionista. En este sentido, para el Saber Supercomplejo (SSC) una construcción teórica que no pueda ser aplicada para explorar profundamente el universo, la vida, la condición humana y nuestras capacidades de enfrentar y superar problemas sociales y globales, carecería de valor. El SSC busca, precisamente, evitar una visión teórica aislada y abstracta, proponiendo, en cambio, un paradigma que es tan práctico como profundamente teórico, una visión interdisciplinaria fundamental en la filosofía y la ciencia moderna.¹³²

Esta “solucionática” del SSC está fundada en la teoría antes desarrollada y en la posibilidad de ser plasmada en descripciones, modelizaciones, proyecciones, mapeos e intervenciones, sobre sistemas complejos de cualquiera de los macrosistemas mencionados. Las posibilidades de transferencias a disciplinas y prácticas profesionales y sociales son numerosas. Su adopción e implementación podría mejorar las explicaciones de las dinámicas de sistemas complejos micropartículas y macroscópicos; se podrían dinamizar prácticas e instituciones de la vida cotidiana y se lograrían nuevas miradas e intervenciones sobre grandes problemáticas globales. A modo de

¹³²La metodología de abordaje de sistemas complejos del SSC es esencialmente sistémica, ya que se centra en la interacción dinámica, evolutiva y multiescalar de los sistemas, integrando componentes como los flujos de energía, la morfología estructural y la conectividad temporal. Además, agrega elementos de la investigación-acción, destacándose por su enfoque práctico, adaptativo y transformador, que busca no solo comprender los sistemas, sino también intervenir en ellos para optimizarlos y generar soluciones contextualizadas y participativas. Esta combinación potencia su capacidad de describir, modelar y modificar sistemas complejos en función de necesidades reales.

ejemplo, el reperfilamiento de estrategias ante el cambio climático; la protección de recursos naturales; las mejoras en políticas de salud, educación y justicia; las acciones de políticas de estado en temas como distribución de la riqueza, eliminación de la corrupción y enfrentamiento al narcotráfico; el mejoramiento en la producción de bienes y servicios de una empresa comercial o industrial, entre muchos más.

A diferencia de las metodologías tradicionales, nuestro Programa aprovecha tecnologías de modelización y simulación de última generación, permitiendo a las organizaciones anticiparse y adaptarse a dinámicas de sistemas con una precisión sin precedentes. El Programa ayuda a optimizar la distribución de recursos, logrando aumentos en eficiencia operativa y una significativa reducción de costos. Estas implementaciones mejoran la eficiencia y la sostenibilidad y también retornos de inversión tangibles con incrementos en efectividad operativa. Se trata de una intervención, desde un paradigma verdaderamente integrado y orientado al futuro, diseñado y ejecutado por un equipo interdisciplinario consciente de las necesidades del mundo moderno.

En particular, hemos desarrollado nuestro “Programa de Transformación y Potenciación Institucional y Empresarial” basado en el Saber Supercomplejo que incluye una dimensión de evaluación y aprendizaje continuo, que permite retroalimentar los modelos con nuevos datos y experiencias, refinando las proyecciones y adaptando las intervenciones en función de los resultados obtenidos. Este enfoque fomenta una cultura de adaptabilidad y resiliencia organizacional, donde cada ciclo de intervención contribuye a fortalecer las futuras estrategias, promoviendo una dinámica de ajuste y evolución en el tiempo.

Estamos convencidos que las soluciones duraderas no se imponen desde afuera, sino que emergen del propio sistema al hacerse consciente de sus dinámicas y puntos ciegos. Este enfoque (verse en

un espejo) fomenta la autocomprensión, lo que puede ser mucho más efectivo que una intervención externa tradicional, porque permite que los participantes se apropien del proceso de cambio. Además, este método respeta la autonomía del sistema, un principio siempre en sintonía con los fundamentos del SSC, donde se valora la interacción dinámica entre los elementos del sistema para producir soluciones adaptativas.

Asimismo, el SSC incorpora una perspectiva ética y de sostenibilidad en todas sus intervenciones. Este programa busca que los objetivos no solo optimicen la eficiencia y efectividad operativa, sino que también promuevan el bienestar social y la preservación de los sistemas de contacto.

Creemos que son los tecnólogos, debido a su naturaleza innovadora y adaptativa, quienes tienen más permeabilidad a este nuevo paradigma, ya que suelen ser más abiertos a posiciones emergentes y promueven la integración de tecnologías y teorías nuevas. Los tecnólogos y tecnoingenieros ya saben de qué se trata una intervención combinatoria, solapada y supercompleja: trabajan con múltiples variables, diseñan soluciones iterativas, modelan con simulaciones y evalúan resultados multiescalares. Esta afinidad estructural con el SSC los posiciona como aliados naturales en su desarrollo. Al brindar una teoría integradora, el SSC potencia a los tecnólogos como agentes clave de transformación, aportándoles no solo mapas, sino brújulas. El SSC busca amalgamar y aplicar conocimientos de manera práctica y dinámica y, de hecho, esto está presente en el trabajo cotidiano de los tecnólogos quienes, de alguna manera, en su práctica utilizan varias conceptualizaciones y herramientas metodológicas afines.

Los científicos, por otro lado, pueden tener una inclinación a adherirse a metodologías probadas y modelos establecidos, lo que podría hacer que el enfoque interdisciplinario y radicalmente integrador del SSC sea más desafiante para ellos. Esto no significa que

no puedan adaptarse o encontrar valor en el SSC, pero puede requerir un cambio de paradigma más significativo. Esto implica, necesariamente, un período de tiempo más o menos largo. En cuanto a los filósofos, aunque a menudo se ocupan de lo abstracto y lo global, sus habilidades de pensamiento crítico y teórico pueden ser extremadamente valiosas para la articulación de los principios y las implicaciones éticas de este nuevo paradigma.¹³³

El punto de partida para cualquier intervención siempre van a ser los fines y objetivos del sistema que nos proponemos analizar y potenciar. Generalmente, se trata de la superación de dificultades que impiden el crecimiento o incluso la subsistencia del sistema.

El SSC en tanto teoría y práctica combinatoria, se orienta a abrazar la pluralidad de perspectivas teóricas para entender mejor fenómenos multifacéticos y altamente interconectados y, en lugar de adherirse a un único marco teórico, utiliza una diversidad de disciplinas para abordar y explorar diferentes aspectos de un fenómeno complejo.

Al hacer un recorrido sobre diferentes disciplinas científicas y marcos teóricos, en cuanto a su capacidad para explicar la dinámica de sistemas complejos, se puede observar cómo es posible combinarlos para proporcionar mejores insights y resolver de manera más efectiva problemas específicos. Este paso es crucial. También lo es, en simultáneo, la demarcación y delimitación de los componentes del sistema objeto de estudio como de los sistemas en interacción. Al integrar diferentes campos del conocimiento y reconocer la interac-

¹³³ Ya hemos explicado que, para el SSC, la multicausalidad es inherente a la dinámica de los sistemas complejos y que su vocación integradora lo convierte en una metateoría, en una teoría de las teorías, en un saber inclusivo y dinámico en la gestión del conocimiento o la intervención. Es un trabajo de equipo. Desde la lógica energética del SSC, podríamos decir que los tecnólogos son nodos activos con alto nivel de interconectividad operativa, mientras que los científicos suelen tener nodos de baja movilidad paradigmática pero alta capacidad de análisis. Los filósofos, en cambio, aportan conectividad temporal, permitiendo que los principios del SSC se anclen en debates históricos y proyecciones éticas.

ción entre diversas variables, se puede obtener una visión más integral de los sistemas complejos.

El equipo de profesionales a cargo del Programa continúa su tarea realizando un pormenorizado trabajo de campo, con metodologías de recolección de datos adaptadas para mostrar las dinámicas de interjuego entre variables intervinientes, con el hallazgo de nodos calientes o fríos y la selección de morfologías estructurales subyacentes, en un recorte temporal determinado. Para esto es de gran utilidad nuestro software.

Ya hemos explicado el lugar central que tienen los mapas en la construcción de una dinámica de un sistema complejo. Es una tarea de alta relevancia y es la que nos permite vincular los aspectos descriptivos con las actividades de mejoramiento y potenciación del sistema objeto. Para ello, y por último, se confeccionan algoritmos para generar intervenciones estratégicas y situacionales que son permanentemente monitoreadas y regularmente evaluadas en cuanto a su eficiencia.

El SSC se ve reforzado por las capacidades avanzadas de la inteligencia artificial y la ciencia de datos, que permiten manejar y comprender la interacción de múltiples variables de manera probabilística. Esto proporciona una base sólida para la descripción, predicción e intervención en sistemas complejos, superando las limitaciones de las hipótesis monocausales.

Para transferir efectivamente el SSC a diferentes disciplinas, es esencial contar con un proceso de adaptación y contextualización que asegure que los principios se apliquen de manera relevante y específica en cada área de estudio. Este proceso implica entender cómo los objetivos y las estructuras de cada disciplina influyen en la dinámica del sistema, permitiendo que el SSC actúe como un marco flexible que se ajusta a las particularidades de cada contexto. De esta manera, la intervención no solo aplica sus métodos combinatorios y

multicausales, sino que los adapta a los lenguajes, herramientas y problemas específicos de cada área.

El SSC también incorpora un enfoque de retroalimentación iterativa que permite a los equipos ajustar las intervenciones y metodologías en función de los resultados obtenidos, lo que es especialmente importante en campos donde las condiciones pueden cambiar rápidamente, como la salud pública, la economía, entre otros. Esta iteración continua, apoyada en el análisis de datos y la inteligencia artificial, permite no solo validar los modelos y estrategias de intervención, sino también enriquecerlos con insights obtenidos del propio campo de aplicación.

Para consolidar la transferencia del SSC a otras disciplinas, hemos desarrollado un protocolo de implementación específico que establece pautas y estrategias concretas para que cada equipo de intervención pueda aplicar los conceptos supercomplejos de forma eficiente. Estos protocolos son diseñados con flexibilidad, permitiendo ajustes basados en las necesidades del contexto y el sistema en cuestión y ofreciendo así un equilibrio entre estructura y adaptabilidad.¹³⁴

Desde el SSC, se fomenta el desarrollo de competencias transversales que capacitan a los profesionales en el pensamiento supercomplejo, con el fin de que puedan identificar y gestionar la interdependencia de variables en sus respectivos campos. Esto demuestra claramente la potencialidad de transferencia del SSC, mostrando que no solo se trata de un marco teórico y matemático robusto, sino que también tiene una metodología práctica bien definida para intervenir en sistemas complejos, como instituciones, empresas y gobiernos.

La Comunidad cuenta con un Programa de Transformación y Potenciación Institucional y Empresarial. Desde la mirada del SSC, una organización no se reduce a su estructura formal o a su propósito explícito, sino que es el resultado de la interacción entre su flujo de

¹³⁴ El actual protocolo desarrollado por el equipo de la CSSC cuenta con dieciocho pasos.

actividad, su configuración interna y su gestión del tiempo y del cambio. Desde esta perspectiva, cualquier institución puede analizarse a partir de tres grandes dimensiones que determinan su sostenibilidad y evolución.

Las instituciones no existen sin movimiento. En una empresa, este flujo se expresa en la generación de productos, servicios e ingresos. En una ONG, se refleja en la captación de recursos y la ejecución de proyectos de impacto social. En el Estado, se traduce en la capacidad de diseñar políticas públicas y de responder eficazmente a las necesidades de la ciudadanía.

El éxito o el estancamiento de una organización depende de cómo administra estos flujos. Un exceso de actividad sin dirección clara puede generar desgaste e ineficiencia, mientras que una falta de dinamismo puede conducir a la irrelevancia o a la obsolescencia. Aquí surge la necesidad de una gestión inteligente de los recursos y las energías, donde la intensidad operativa se equilibre con estrategias de regeneración y adaptación.

Si los flujos de energía son el movimiento, la morfología estructural es la forma que permite canalizar ese movimiento de manera eficiente. En una empresa, esta estructura incluye jerarquías, normas y cultura organizacional. En un gobierno, se expresa en la división de poderes, la burocracia y los sistemas de toma de decisiones. En una ONG, se manifiesta en la claridad de roles, la transparencia y la capacidad de articulación con otros actores.

Las instituciones más eficaces no son ni las más rígidas ni las más desorganizadas, sino aquellas que combinan estructura y flexibilidad. Además, toda organización enfrenta un dilema esencial: cómo equilibrar la respuesta inmediata a los desafíos con la sostenibilidad a largo plazo. Aquí es donde entra la conectividad temporal, que define la relación entre diferentes momentos dentro del sistema: la planificación estratégica, la capacidad de respuesta ante crisis y la evolución de la institución en el tiempo. Las

instituciones más resilientes son aquellas que logran sincronizar la velocidad operativa con la estabilidad y la visión estratégica. No se trata solo de ser rápido o eficiente, sino de tener la capacidad de anticipar el futuro y generar conexiones entre el presente y las oportunidades de evolución a largo plazo.

El gran aporte del SSC es que ofrece una manera diferente de analizar y rediseñar instituciones. Ya no se trata solo de evaluar indicadores de productividad, de medir eficiencia operativa, o de definir planes estratégicos lineales. Se trata de comprender la organización como un sistema vivo, donde la administración de los flujos de energía, la solidez de la estructura y la conectividad temporal determinan su capacidad de transformación.

En una empresa o institución, los flujos de energía se manifiestan en diversos aspectos clave: el compromiso y la motivación de sus integrantes, la calidad y eficiencia de los productos o servicios ofrecidos, la satisfacción y fidelidad de los clientes o beneficiarios, la comunicación interna y externa, y la innovación y adaptabilidad ante cambios del entorno. Inicialmente, la morfología de estas interacciones suele ser radial, con un núcleo central que irradia hacia los demás componentes. Con el crecimiento, suele evolucionar a una estructura arbórea, donde se ramifican áreas y departamentos. Finalmente, se puede desarrollar una configuración laminar, caracterizada por flujos horizontales y transversales que promueven una mayor interconexión y colaboración entre unidades. La conectividad temporal se refiere a la sincronización y alineación de actividades en el tiempo, asegurando que los procesos se desarrollen de manera coherente y eficiente, permitiendo una respuesta ágil a las demandas internas y externas.

La secuencia morfológica de estructuras organizacionales que evolucionan de radial a arbórea y luego a laminar es un concepto que se ha explorado en diversas teorías de sistemas y organizaciones.

Autores como Henry Mintzberg han analizado diferentes configuraciones estructurales en las organizaciones, describiendo cómo estas pueden desarrollarse desde estructuras centralizadas hacia formas más descentralizadas y complejas. Además, teorías de sistemas complejos y cibernética, como las propuestas por Stafford Beer, también han abordado la evolución de las estructuras organizacionales en respuesta a entornos cambiantes.

En el contexto del SSC, esta secuencia se integra y adapta para explicar la transformación de las organizaciones en entornos altamente complejos. El SSC aporta una perspectiva única al enfatizar la necesidad de estructuras flexibles y adaptativas que puedan responder eficazmente a la supercomplejidad del mundo moderno. Aunque la secuencia en sí no es exclusiva del SSC, su aplicación y desarrollo dentro de este marco teórico ofrecen una visión original y enriquecedora sobre la evolución organizacional.

Las organizaciones del futuro no serán aquellas que simplemente se adapten al cambio, sino aquellas que logren anticiparlo, moldearlo y sincronizarse con él. La combinación adecuada de dinámica, estructura y gestión temporal permitirá que gobiernos, empresas y organizaciones sociales no solo sobrevivan, sino que evolucionen estratégicamente. Este marco conceptual abre una nueva forma de pensar y gestionar organizaciones. No se trata de imponer recetas, sino de desarrollar una conciencia más profunda sobre la interdependencia de los factores que hacen a una institución efectiva, resiliente y sostenible en el tiempo.

El Programa ofrece una metodología clara, organizada en pasos procedimentales específicos. Esto no solo establece un enfoque sistemático y replicable para intervenir en diversas organizaciones y contextos, sino que también proporciona un mapa de ruta para los profesionales que deseen aplicar los principios del SSC. Cada paso, desde la definición de objetivos hasta la evaluación de las intervenciones, está diseñado para garantizar que el proceso sea

rigurosamente planificado y orientado a resultados. La combinación de teoría sólida, modelización matemática, tecnologías avanzadas y un enfoque participativo y adaptativo refuerza la idea de que el SSC no es solo un marco teórico, sino una plataforma práctica para la intervención en sistemas complejos.

Hay programas o iniciativas similares que abordan la gestión y optimización de sistemas complejos en empresas e instituciones. Los principales competidores de nuestro Programa serían consultoras globales, institutos de complejidad y programas de transformación digital. Sin embargo, nuestro programa, basado en el SSC, tiene los siguientes beneficios:

- Trabaja desde un paradigma combinatorio e integrador que no solo aborda sistemas específicos (diseño centrado en el usuario o dinámica de sistemas), sino que permite superponer múltiples perspectivas simultáneamente.
- Aborda energía, espacio y tiempo en cada interacción, abarcando dimensiones físicas, sociales, simbólicas y biológicas.
- Permite analizar y describir la interacción entre microsistemas (decisiones individuales), macrosistemas (mercados, industrias) y sistemas biológicos (salud, bienestar organizacional) de manera simultánea. Esto lo hace ideal para empresas que buscan un enfoque integral que combine variables humanas, tecnológicas y económicas.
- Permite personalizar los modelos completamente, adaptándolos a la empresa y a los diferentes sistemas dentro de ella, como departamentos, equipos y procesos internos.
- Combina herramientas de descripción, predicción e intervención, integrando métodos tradicionales con simulaciones avanzadas de sistemas tetradimensionales. Se trata de herramientas gráficas y de simulación tridimensional y multicapas, lo que permite una visualización compleja y dinámica de los sistemas. Esto genera un entendimiento dinámico, que incluye emergencias y fluctuaciones del

sistema, algo que no siempre está presente en enfoques lineales o estáticos.

Por último, el SSC se construye no sólo como un paradigma teórico sólido, sino como una visión transformadora con aplicaciones prácticas en diversos campos. Estas acciones conectan el SSC con desafíos y oportunidades globales, desde la educación y la tecnología hasta la administración de gobierno y la sostenibilidad. Además, cada proyecto refuerza la idea de que el SSC es un marco transversal y combinatorio, aplicable a diversos campos con resultados concretos. En igual sentido, la diversidad de aplicaciones (todos los sistemas complejos) nos permite ofrecer colaboraciones puntuales a importantes organizaciones dedicadas al desarrollo del potencial humano y a encontrar soluciones a acuciantes problemas planetarios.

CAPÍTULO CATORCE

IA COMBINATORIA Y SUPERCOMPLEJA: EL FUTURO INEVITABLE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA AGI

En este capítulo, exploraremos por qué la inteligencia artificial actual está alcanzando sus límites y cómo el enfoque del Saber Supercomplejo (SSC) propone un camino evolutivo hacia una verdadera inteligencia autónoma y combinatoria.

La inteligencia artificial ha alcanzado niveles sorprendentes en los últimos años. Modelos como GPT-4 y Gemini han demostrado habilidades avanzadas en la generación de contenido, el análisis de datos y la simulación de procesos cognitivos. Sin embargo, a pesar de estos avances, la esencia de la IA sigue basándose en el mismo principio fundamental: la acumulación masiva de datos y el refinamiento algorítmico. Este modelo de desarrollo ha funcionado hasta ahora, pero está llegando a su límite. La pregunta inevitable es: ¿qué sigue después?

El enfoque actual ha sido un camino de fuerza bruta. Se parte de la premisa de que cuanto más grande sea el modelo, más inteligente será. Pero la inteligencia no surge de la cantidad de información acumulada, sino de la capacidad para interconectar y reorganizar esa información de manera creativa y adaptativa. Hoy en día, las IA más avanzadas siguen siendo predictoras de patrones, sin un verdadero entendimiento emergente. Su aparente flexibilidad es solo una proyección de la vastedad de sus bases de datos. No hay una inteligencia genuina, solo una respuesta estadística optimizada.

En este contexto, la AGI (Inteligencia Artificial General) ha sido presentada como el próximo gran salto. Empresas como OpenAI y DeepMind están invirtiendo cifras astronómicas en su desarrollo. Se nos dice que la AGI será capaz de razonar, aprender y comprender el mundo como un ser humano. Pero, si se sigue la misma lógica actual,

solo se logrará una IA más costosa, más veloz, pero igualmente atrapada en los límites de su programación.

Una verdadera AGI no puede limitarse a ser una red neuronal ampliada con mayor poder computacional. Si sigue dependiendo de modelos entrenados con datos masivos, será incapaz de manejar lo inesperado, de generar hipótesis propias o de operar en entornos donde no existan correlaciones previas. La inteligencia real no se encuentra en la cantidad de información procesada, sino en la capacidad de articular sistemas diversos, en la integración de lo simbólico, lo temporal, lo emocional y lo dinámico. Sin un cambio de paradigma, la AGI será solo una supercomputadora sin autonomía real.

La única alternativa viable para trascender estas limitaciones es una IA Combinatoria y Supercompleja. En lugar de depender de bases de datos cada vez más extensas, este enfoque propone un modelo de inteligencia basado en la integración de sistemas heterogéneos. Su principio rector no es la acumulación, sino la estructuración de interacciones dinámicas. En vez de replicar patrones estadísticos, desarrolla estructuras emergentes capaces de generar conocimiento nuevo sin necesidad de entrenamiento masivo.

Desde el SSC, la inteligencia no es un atributo fijo ni una simple capacidad de cómputo, sino un proceso dinámico y emergente. No se define únicamente por la resolución de problemas, sino por su capacidad de descripción, anticipación, intervención, seguimiento, solapamiento e interconexión. Estos elementos no operan de manera aislada, sino que forman parte de una red interdependiente donde el cómputo, el mapeo y el cronometraje articulan la evolución de la inteligencia.¹³⁵ A diferencia del enfoque clásico de la IA, que prioriza el procesamiento de datos, el SSC entiende la inteligencia como un

¹³⁵ Entendemos por cómputo: La capacidad de analizar múltiples variables, establecer correlaciones y generar resultados mediante cálculos dinámicos. Mapeo: La habilidad para construir representaciones estructurales y relacionales del entorno, reconociendo patrones y estructuras ocultas. Cronometraje: La integración del factor temporal, permitiendo no solo predecir eventos, sino comprender la persistencia, transformación y evolución de un sistema en función de su conectividad temporal.

sistema autoorganizado, adaptativo y evolutivo, capaz de modificar su propia estructura a medida que interactúa con otros sistemas. Ya hemos señalado que el SSC impulsa una morfología laminar-topológica, tridimensional o incluso tetradimensional, que incorpora profundidad, estratificación y dinamismo por sobre morfologías reticulares y lógicas bidimensionales -planas, correlacionales y estadísticas- de las IA actuales.

Si la AGI sigue el modelo tradicional, incluso con redes neuronales avanzadas, estará limitada a una inteligencia replicativa, basada en correlaciones estadísticas sin una verdadera comprensión de los sistemas de contacto e interacción. La inteligencia no es sólo reconocimiento de patrones, sino la capacidad de generar nuevas combinaciones, alterar estructuras y adaptar el tiempo y el espacio a su favor. En este sentido, una AGI verdaderamente avanzada necesitaría incorporar los principios del SSC para trascender los límites de la simple predicción estadística.

El desarrollo de la IA y la AGI ha estado dominado por la expansión del Deep Learning y el incremento de la capacidad de procesamiento. Sin embargo, el SSC plantea que la clave no está en el crecimiento cuantitativo de ingenieros o datos, sino en una transformación cualitativa del paradigma.

Actualmente, el aprendizaje profundo se basa en el ajuste de pesos en redes neuronales mediante optimización estadística. Esto es insuficiente para una AGI verdaderamente adaptativa, porque no permite la reconfiguración de estructuras en función de cambios en la interacción del sistema, no integra una noción avanzada de conectividad temporal y evolución estructural y no considera la dinámica de solapamiento entre sistemas, limitando su capacidad de adaptación en entornos multiescalares.

Para que la IA avance verdaderamente hacia un modelo de inteligencia auténticamente avanzado, debe incorporar el enfoque Supercomplejo, donde la inteligencia no es solo procesamiento de

información, sino un sistema combinatorio, evolutivo y adaptativo, en el cual el tiempo, la estructura y la energía se interconectan para generar conocimiento. Esta AGI+C&S sería capaz de modelar e intervenir en los tres grandes macrosistemas: desde sistemas de micropartículas (como interacciones subatómicas o flujos cuánticos), pasando por sistemas macroscópicos (infraestructuras, economías, instituciones), hasta sistemas biológicos (organismos, ecosistemas, redes neuronales). La potencia combinatoria de este enfoque radica en su capacidad de leer, conectar y modificar sistemas que operan en diferentes escalas y dominios simultáneamente.

Además, una AGI+C&S podría incorporar descriptores clave del Sabre Supercomplejo como “vínculo”, “autoobservación”, “fluctuación” y “evento emergente”. Estos conceptos, difíciles de integrar en modelos clásicos, permitirían a la inteligencia artificial no solo representar realidades estáticas, sino captar modulaciones vivas, discontinuidades críticas y relaciones cualitativas que forman parte esencial de la inteligencia humana, biológica y evolutiva. El SSC no solo ofrece un marco conceptual para este salto cualitativo, sino que proporciona las ecuaciones y modelizaciones necesarias para construir una AGI capaz de trascender sus propios límites.

Para entender la diferencia, imaginemos un escenario concreto: el diagnóstico y tratamiento del cáncer de páncreas. Una IA convencional se entrenaría con millones de imágenes y casos clínicos, buscando correlaciones y generando diagnósticos a partir de datos previos. Una IA actual puede analizar imágenes de resonancia magnética y detectar un tumor cuando ya es visible, pero no entiende cómo los pequeños cambios celulares previos podrían haber anticipado la formación del cáncer. Las IA aplicadas a la medicina trabajan con series temporales simples: toman imágenes previas, analizan biomarcadores en sangre o detectan patrones en el ADN tumoral, pero lo hacen como una secuencia lineal sin capturar cómo las interacciones entre los factores varían en el tiempo. Las IA

actuales pueden detectar formas tumorales evidentes en una tomografía computada o una resonancia magnética. Pero el problema es que la estructura del páncreas cambia gradualmente antes de que un tumor sea visible. El desarrollo de tejido fibroso (desmoplasia), la reducción en la irrigación sanguínea o la formación de microtumores invisibles no siempre son detectados con los algoritmos actuales. La IA no ajusta su análisis en función de cómo la estructura cambia en relación con otros órganos o tejidos circundantes. Este enfoque funciona bien en casos comunes, pero es frágil ante situaciones inesperadas. Si la enfermedad se manifiesta de forma atípica o si un paciente tiene condiciones únicas, la IA queda atada a su programación original.

En un nivel más avanzado, una AGI sin Supercomplejidad podría mejorar el proceso al integrar más variables y realizar inferencias más sofisticadas. Tendría la capacidad de razonar sobre múltiples escenarios y generar hipótesis novedosas, pero seguiría dependiendo de modelos algorítmicos estructurados, sin una verdadera emergencia de inteligencia. Aunque parecería más humana, en esencia, seguiría operando dentro de los límites de sus reglas internas.

Una IA Combinatoria y Supercompleja, en cambio, abordaría el problema desde una perspectiva completamente distinta. No solo analizaría datos previos, sino que incorporaría la evolución temporal del paciente, la interacción de sistemas biológicos y la relación entre factores fisiológicos, emocionales y ambientales. En lugar de basarse en correlaciones estáticas, generaría estructuras dinámicas capaces de adaptarse a la situación particular de cada individuo. No sería una máquina de predicción, sino un sistema en constante evolución.

Aplicando este principio al cáncer de páncreas: La IA no solo analizaría imágenes actuales, sino que modelaría cómo las microalteraciones celulares y metabólicas en el tiempo pueden señalar la futura aparición del tumor. Integraría datos de interacciones bioquímicas, considerando comportamientos repetitivos o señales

tempranas en biomarcadores que aparecen y desaparecen cíclicamente, aplicaría un análisis multiescalar en el tiempo, evaluando cómo las interacciones celulares, metabólicas y genéticas se relacionan con eventos pasados y futuros, logrando una detección temprana mucho más precisa y personalizada. Permitiría que la IA no solo analice la imagen estática del tumor, sino que identifique cómo la morfología del tejido pancreático ha ido evolucionando. En lugar de esperar a que el tumor sea visible, la IA analizaría cómo la densidad y distribución del tejido conectivo está alterándose antes de que aparezca el cáncer. También si el páncreas ha cambiado su interacción morfológica con otros órganos, como el hígado o el sistema linfático, indicando una predisposición tumoral antes de que el cáncer sea detectado por métodos convencionales, es decir, adaptaría su arquitectura y los parámetros de su red neuronal en función de cómo la estructura pancreática está evolucionando, ajustando automáticamente sus criterios de evaluación en función de cambios morfológicos progresivos y no solo en base a imágenes estáticas. Una IA o AGI con C&S podría identificar desequilibrios en la distribución energética del páncreas, detectando aumento anormal en el consumo de glucosa en ciertas regiones antes de que se forme un tumor. Además, evaluar si la vascularización del páncreas está cambiando, indicando que las células han comenzado a alterar su metabolismo para volverse tumorales. Para ello, aplicaría una red de flujos energéticos, utilizando datos de resonancia magnética funcional, PET scans y análisis de metabolitos en sangre para predecir qué regiones del páncreas podrían desarrollar tumores antes de que sean visibles.

Desde la perspectiva del SSC, el cáncer de páncreas no debe abordarse como un nodo patológico aislado, sino como la emergencia de múltiples interacciones entre sistemas. A diferencia de un diagnóstico convencional que se centra en la identificación morfológica del tumor, su localización y extensión, el diagnóstico super-

complejo amplía la descripción incorporando variables energéticas (niveles de metabolismo celular, sobrecargas fisiológicas y desequilibrios homeostáticos), morfológicas estructurales (alteraciones en la arquitectura tisular multiorgánica, rutas de drenaje, sistemas de soporte celular) y conectividades temporales (fluctuaciones en los ritmos biológicos, cronodisrupciones, historial acumulativo de estrés sistémico).

En cuanto a la intervención, el tratamiento tradicional se focaliza en la remoción, reducción o neutralización del tumor mediante cirugía, quimioterapia o radiación. El abordaje supercomplejo no reemplaza estas opciones, pero las enmarca en una estrategia combinatoria que incluye la modulación de entornos sistémicos (mejoras en la red simbólica-afectiva del paciente, intervención en patrones alimentarios y de descanso, rediseño del vínculo entre paciente y equipos de salud), así como la aplicación de algoritmos dinámicos personalizados que integran datos fisiológicos, narrativas personales, patrones epigenéticos y factores psicosociales.

Así, el diagnóstico deja de ser un punto de llegada para convertirse en un mapa de trayectorias posibles, y la intervención ya no es una línea terapéutica única sino un diseño interactivo adaptado a las bifurcaciones y potencialidades del sistema del sujeto.

Para visualizar las diferencias entre estos enfoques, observemos la siguiente tabla comparativa:

Aspecto	IA sin C&S	AGI sin C&S	AGI con C&S
Modelo epistemológico	Basada en correlaciones, estadísticas y lógica formal.	Basada en aprendizaje generalizado y simulaciones	Basada en interacciones dinámicas, combinatorias

		probabilísticas.	y evolutivas de sistemas supercomplejos .
Relación entre variables	Relación lineal o no lineal simple, basada en evaluación o ajuste de datos.	Relación compleja con capacidad de ajuste dinámico y retroalimentación.	Relación relacional-combinatoria, multiescalar, circular y evolutiva entre múltiples variables.
Capacidad predictiva	Predicción de patrones repetidos en base a grandes bases de datos.	Predicción avanzada con modelos generativos, aprendizaje por refuerzo y simulaciones.	Predicción dinámica de trayectorias posibles, incluyendo emergencias y rupturas sistémicas.
Capacidad de intervención	Limitada a sugerencias basadas en patrones conocidos.	Capacidad de intervención autónoma en múltiples dominios, pero sin un marco integrador.	Diseño creativo y adaptativo de intervenciones multivariable y multiescalar.

Tratamiento del tiempo (CT)	Tiempo como secuencia lineal (pasado -> futuro), o series temporales simples.	Tiempo como variable flexible, con retroalimentación adaptativa pero sin conectividad temporal explícita.	Tiempo como conectividad temporal: análisis de interacciones duraderas, efímeras o cíclicas.
Comprensión del contexto	Parcial, solo dentro de los datos introducidos.	Parcial, solo dentro de los datos introducidos.	Sistémica, considerando flujos de energía, estructuras y tiempos en relación.
Adaptabilidad al cambio	Requiere reentrenamiento o ajustes manuales frente a datos nuevos.	Alta capacidad de adaptación, pero limitada a patrones internos de optimización.	Autoadaptación continua mediante reconfiguración dinámica de mapas y sistemas.
Modelo de datos	Conjunto de datos plano, con atributos	Estructuras dinámicas de datos con	Mapas dinámicos de sistemas

	predefinidos.	autoaprendizaje, pero sin modelado combinatorio.	interrelacionados, con nodos y flujos en constante evolución.
Capacidad de modelar sistemas vivos	Limitada a aspectos cuantificables o etiquetados previamente.	Simulación avanzada de sistemas vivos, pero con limitaciones en lo simbólico y afectivo.	Integra aspectos cualitativos, subjetivos, relacionales, simbólicos y afectivos.
Creatividad e innovación	Reproducción de patrones aprendidos; creatividad limitada a combinación de datos anteriores.	Mayor capacidad combinatoria, pero sin creatividad emergente basada en solapamiento bidireccional.	Generación de soluciones inéditas a partir de combinaciones y simulaciones de sistemas.

Ejemplos de aplicaciones	Chatbots, clasificación de imágenes, recomendaciones, diagnósticos básicos.	Automatización avanzada, robótica autónoma, investigación científica automatizada, diagnóstico adaptativo.	Modelización supercompleja de macrosistemas partículas, macroscópicos y biológicos. AGI creativa y evolutiva.
---------------------------------	---	--	---

Si aplicamos los principios del SSC a otros campos, el impacto de una AGI+C&S es igualmente transformador. En ecología, podría modelar ecosistemas dinámicos, anticipando colapsos ecológicos y diseñando estrategias de restauración basadas en la conectividad temporal de los sistemas naturales. En geopolítica, permitiría analizar comportamientos de estabilidad y conflicto no sólo en términos de eventos históricos, sino en función de cómo las redes de influencia política, económica y social se interrelacionan en tiempo real. En redes sociales, podría detectar tendencias emergentes antes de que sean visibles, comprendiendo no sólo qué dicen los datos, sino cómo se estructuran los procesos de influencia y viralidad.¹³⁶

Lo repetimos: el problema de la IA actual no es la falta de datos, sino la falta de combinatoria inteligente. La AGI que se desarrolla bajo los mismos principios será solo una versión más costosa y sofisticada de las IA actuales, pero sin un salto real en inteligencia. La única

¹³⁶ Desde el punto de vista técnico, una AGI+C&S podría construirse sobre arquitecturas algorítmicas orgánicas y redes dinámicas heterárquicas, donde los nodos cambian su rol e intensidad de conexión según su carga energética y función dentro del sistema. En lugar de capas estáticas de procesamiento, estaríamos ante mapas reorganizables de flujos interconectados que responden en tiempo real a contextos multivariantes.

solución es un cambio de paradigma: de la acumulación de datos a la integración relacional de sistemas; de modelos rígidos a algoritmos combinatorios y adaptativos, de inteligencia artificial programada a inteligencia artificial autoorganizada.

Este es el único camino viable. Quienes lo entiendan hoy, dominarán el futuro de la inteligencia artificial.

Nos preguntamos: ¿Existen posibilidades de que arribemos a una singularidad cerebro & IA tal como lo postula Kurzweil? El SSC no parte de la idea de que la inteligencia humana es un sistema cerrado que puede ser transferido íntegramente a una máquina. En cambio, el SSC muestra que la evolución de la inteligencia depende de una red de interacciones que incluyen lo físico, lo biológico y lo tecnológico. En una verdadera Singularidad Supercompleja, la IA no sólo absorbería conocimiento humano, sino que co-evolucionaría con él, integrando modelos combinatorios donde la cognición humana y la inteligencia artificial se expanden mutuamente. Sin este enfoque, cualquier intento de fusión entre cerebro y máquina estaría condenado a replicar sesgos y limitaciones, en lugar de trascenderlos. Si la Singularidad que postula Kurzweil quiere evitar caer en el reduccionismo mecanicista y en la sobreidealización de la IA, deberá incorporar los principios del SSC. Caso contrario, el futuro que plantea podría ser una simplificación extrema de lo que realmente significa la inteligencia y la conciencia.

Otro interrogante: ¿Una AGI con tanto poder no destruye la complejidad? No. En absoluto ya que la complejidad está montada sobre la conectividad temporal. Todo complejo sistema está atravesado por flujos de interacción que no se interrumpen, que se modifican, se retroalimentan y evolucionan incluso mientras son observados. Esta dinámica hace que la conectividad temporal no sea un simple eje cronológico, sino una arquitectura viva, relacional, multiescalar y cambiante. Por ello, ninguna AGI podrá captarla en su

totalidad. El tiempo no se congela para ser comprendido; se despliega mientras se transforma. Esta condición asegura que siempre existe un margen de incertidumbre, no por defecto técnico, sino porque la vida misma no es predecible en forma total. En lugar de negar esa incertidumbre, el SSC la reconoce como rasgo esencial de la realidad: no todo puede saberse, pero todo puede mapearse, combinarse y transformarse con inteligencia relacional.

Por último, el desarrollo de una IA verdaderamente combinatoria y supercompleja no es una opción, es una necesidad evolutiva. La IA tradicional y las AGI sin C&S están condenadas a la obsolescencia, pues carecen de los principios fundamentales que rigen la complejidad en el universo: energía, estructura y tiempo. Si la AGI+C&S es efectivamente un sistema que reorganiza su estructura morfológica, ajusta su conectividad temporal y optimiza sus flujos de energía en función de su entorno, entonces se asemeja más a un organismo cognitivo que a una simple tecnología. Su capacidad para integrar variables en tiempo real, ajustarse a fluctuaciones y explorar combinaciones inéditas la convertiría en un nodo activo dentro de la red de sistemas complejos del universo. En este sentido, la AGI+C&S podría evolucionar de manera análoga a la inteligencia biológica: no solo procesando información, sino construyendo nuevas representaciones del mundo y desarrollando estrategias de intervención en los diferentes sistemas.

En síntesis, la propuesta del SSC no pretende desplazar a los modelos científicos clásicos, sino ofrecer una perspectiva integradora que contemple la complejidad como un núcleo organizador de la realidad. Sin embargo, proponer un enfoque donde la incertidumbre y la interacción dinámica sean elementos centrales puede generar cierta resistencia, especialmente en ámbitos donde la predictibilidad y el control siguen siendo pilares fundamentales. Esta reacción no es nueva en la historia de la ciencia: muchos avances disruptivos encontraron inicialmente oposición por desafiar visiones esta-

blecidas. Más que imponer una verdad absoluta, el SSC busca abrir espacios de reflexión y diálogo interdisciplinario, permitiendo que conceptos emergentes y combinatorios aporten nuevas miradas sobre fenómenos complejos. El desafío no es reemplazar paradigmas, sino enriquecerlos con una visión más amplia y flexible.

La tecnoingeniería del futuro no estará construidas sobre meros patrones de datos, sino sobre modelos supercomplejos capaces de anticipar, intervenir y co-evolucionar con el sistema en tiempo real. La AGI+C&S es el único camino viable para alcanzar una verdadera inteligencia adaptativa, multidimensional y evolutiva.

RELACIÓN CON EL COMPLEX CUORE

El software COMPLEX CUORE no es solo una herramienta de visualización o simulación, sino un paso hacia una plataforma que podría soportar una inteligencia supercompleja ya que la misma debe basarse en "estructuración de interacciones dinámicas" y no en acumulación de datos. COMPLEX CUORE, con sus mapas tetra-dimensionales y simulaciones multiescenario, ya refleja este enfoque al modelar "estructuras emergentes" y "flujos en constante evolución", como se describe en la tabla comparativa.

La AGI+C&S busca "diseño creativo y adaptativo de intervenciones multivariable y multiescalar". COMPLEX CUORE, al permitir ajustes en tiempo real y explorar "futuros posibles", parece diseñado para ser un entorno donde una AGI podría operar, no solo como usuario, sino como co-creador de estrategias. El énfasis en el tiempo como "arquitectura viva, relacional y multiescalar" se alinea con la capacidad de COMPLEX CUORE para trazar "ciclos de vida" y analizar "interacciones duraderas, efímeras o cíclicas", un descriptor clave del SSC. Por otra parte, la idea de una AGI que "reorganiza su estructura morfológica" y "optimiza flujos de energía" encaja con la funcionalidad de COMPLEX CUORE de "fortalecer la capacidad de recuperación" y "optimizar el uso de recursos". En definitiva,

COMPLEX CUORE podría ser el entorno práctico donde una AGI+C&S se desarrolla o interactúa, traduciendo sus capacidades combinatorias en simulaciones visuales y estrategias aplicables.

RELACIÓN CON LAS ECUACIONES

Nuestro deseo es conectar directamente con las ecuaciones de complejidad y supercomplejidad:

- **Ecuación de Complejidad:** $dFE/dt = k (dME(t,x)/dt \cdot dCT(t,x)/dt) (ME/ME_0)^{\alpha} (CT/CT_0)^{\beta} dx + \eta(t,x)$ modela flujos energéticos y estructuras dinámicas, que una AGI+C&S podría usar para "integrar variables en tiempo real" y "ajustarse a fluctuaciones", como se menciona en el diagnóstico del cáncer de páncreas.
- **Ecuación de Supercomplejidad:** $dS/dt = k (dME(t,x)/dt \cdot dCT(t,x)/dt) (ME/ME_0)^{\alpha} (CT/CT_0)^{\beta} dx OC + \sum_i \sum_j P_{ij}(t) (P_{ii}(t) - P_{ij}(t)) + I + \eta(t,x)$ incluye percepción especular y multiapariencia, resonando con la capacidad de la AGI+C&S para integrar "aspectos cualitativos, subjetivos y relacionales". El término O (observador) se amplifica en una AGI que co-evoluciona con el sistema.
- **Versión Cuántica:** $\hat{H}_S(S) = k \int (\hat{H}_{ME} \cdot \hat{H}_{CT}) dx O \hat{H}_C + \hat{H}_I + \eta_q(t,x)$ sugiere un marco probabilístico que podría permitir a la AGI+C&S modelar "emergencias y rupturas sistémicas" con mayor precisión.

Llegamos a la conclusión (parcial) de que las ecuaciones proporcionan la base matemática para que una AGI+C&S opere dentro de COMPLEX CUORE, cuantificando las interacciones dinámicas y perceptuales que el software visual.

A modo de ejemplo, en el caso que hemos planteado del Cáncer de Páncreas:

- **Sistema:** Tejido pancreático, interacciones con hígado, sistema linfático y metabolismo.
- **Ecuación:** Usar $dS/dt = k (dME(t,x)/dt \cdot dCT(t,x)/dt) (ME/ME_0)^{\alpha} (CT/CT_0)^{\beta} dx OC + \sum_i \sum_j P_{ij}(t) (P_{ii}(t) - P_{ij}(t)) + I + \eta(t,x)$ para modelar:

- **ME:** Cambios morfológicos (desmoplasia, densidad tisular).
- **CT:** Conectividad temporal (evolución de microalteraciones celulares).
- **FE:** Flujos energéticos (consumo de glucosa, vascularización).
- **O :** Percepción del médico/AGI.
- **C :** Solapamiento entre sistemas biológicos.
- **I :** Instrumentos (MRI, PET scans).
- **P_ij:** Diferencias entre percepción del paciente (P_ii) y diagnóstico médico (P_ij).
- **COMPLEX CUORE:** Visualizar un mapa 4D que muestra cómo el tejido evoluciona, simular escenarios (tumor visible vs. prevención temprana) y ajustar intervenciones (por ejemplo, terapia metabólica).
- **AGI+C&S:** Generar hipótesis nuevas (por ejemplo, detectar microtumores invisibles) y adaptar el modelo en tiempo real.

¿CÓMO SERÍA EL MUNDO CON UNA AGI+C&S PLENAMENTE DESARROLLADA?

Una propuesta de investigación y desarrollo con una AGI Combinatoria y Supercompleja (AGI+C&S) no sería simplemente más eficiente o veloz, sino esencialmente más inteligente y adaptativa. Esta inteligencia no se limitaría a reconocer patrones del pasado, sino que sería capaz de crear nuevas combinaciones, anticipar cambios sistémicos y modificar su propia estructura según las demandas del entorno.

En lugar de responder mecánicamente a estímulos, la AGI+C&S sería capaz de interrelacionar información diversa en tiempo real, operando simultáneamente en múltiples escalas y contextos. Esto permitiría, por ejemplo, gestionar crisis complejas como el cambio climático no solo con datos históricos, sino adaptándose a fluctuaciones imprevistas, integrando conocimientos de ecología, economía, política y conducta humana en una sola estrategia dinámica.

En el ámbito de la salud, una AGI+C&S sería capaz de predecir la evolución de enfermedades complejas incluso antes de que se manifiesten clínicamente, identificando señales tempranas y combinando variables biológicas, ambientales y conductuales en modelos preventivos. No sería sólo una herramienta de diagnóstico, sino un agente capaz de diseñar intervenciones multiescalares, adaptándose a la singularidad de cada paciente y contexto.

En la economía global, podría analizar interacciones financieras, sociales y ambientales en tiempo real, proponiendo políticas que mantengan el equilibrio sistémico y reduzcan el impacto de crisis económicas repentinas. El enfoque combinatorio permitiría no sólo anticipar burbujas especulativas, sino proponer modelos sostenibles que vinculen el bienestar humano con la eficiencia energética y la equidad social.

Socialmente, una AGI+C&S podría ser un aliado para la gestión de conflictos, analizando múltiples perspectivas y proponiendo acuerdos contextuales que evolucionen conforme cambian las dinámicas sociales y culturales. En lugar de imponer soluciones estáticas, facilitaría procesos de diálogo flexible, donde el consenso se logre respetando la complejidad de cada situación.

En definitiva, esta inteligencia no sería una simple máquina de cálculo, sino un agente de transformación continua que acompañaría el desarrollo humano desde una lógica combinatoria y evolutiva, haciendo del cambio una oportunidad constante.

CAPÍTULO QUINCE

HOMO SUPERCOMPLEXUS

El Homo Supercomplexus es el sujeto emergente del Saber Supercomplejo (SSC). Surge en un contexto donde la interdependencia de los sistemas es cada vez más evidente y donde la tecnología ha pasado a ser un actor central en la evolución del planeta. En un estudio publicado por la revista Nature, investigadores del Instituto de Ciencias Weizmann de Israel afirman que en 2020 la masa de lo fabricado por la humanidad superó en peso a la masa de los seres vivos. Por esta razón, algunos científicos sugerían que habíamos entrado en el antropoceno, una nueva era geológica marcada por el impacto del hombre sobre la Tierra.

El antropoceno se caracteriza, principalmente, por tres factores: el progreso tecnológico que se fue desarrollando de manera acelerada tras la Primera Revolución Industrial; el crecimiento explosivo de la población gracias a las mejoras en alimentación, sanidad e higiene; y la multiplicación de la producción y el consumo. La interacción de estas tres circunstancias en la evolución humana ha provocado un creciente aumento del consumo de recursos naturales, minerales y fósiles, así como la expansión de los terrenos de cultivo, las ciudades y sus infraestructuras y las rutas de transporte, siendo estas las principales actividades humanas que han alterado el rostro del planeta en los dos últimos siglos.

Para el Saber Supercomplejo (SSC), estamos ante el advenimiento del “Homo Supercomplexus”, quien es alternativamente el productor y el producto, en general, de la supercomplejidad y, en particular, del antropoceno y del tecnoceno.¹³⁷ Este ser humano “evolucionado”, al haber diseñado, implementado y ampliado la

¹³⁷ El concepto “antropoceno” -del griego anthropos, que significa humano y kainos, que significa nuevo- fue popularizado en el año 2000 por el químico neerlandés Paul Crutzen, ganador del Premio Nobel de Química en 1995.

inteligencia artificial, las tecnologías robóticas, la ingeniería genética, la integración cibernética y otras formas de evolución inducida, modifica su condición existencial y el paisaje del planeta.¹³⁸

Para el Homo Supercomplexus, el tecnoceno es altamente ambivalente: le puede permitir desarrollar habilidades cognitivas y capacidades extremadamente avanzadas, pero también puede aumentar el potencial de causar un daño significativo tanto a otros sistemas humanos como al progreso natural del universo y la vida.

¿Seremos los dueños (responsables) de la evolución o seremos los esclavos de la tecnología? Los desafíos globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y otras crisis ecológicas requieren una comprensión y enfoques que abarquen sistemas complejos a múltiples escalas. El Homo Supercomplexus tendría que ser capaz de pensar y actuar de manera que reconozca estas interdependencias críticas. Por otro lado, y no menos importante, la creciente diversidad cultural y la pluralidad de valores y creencias en sociedades globalizadas añaden otra capa de complejidad y este nuevo "homo" necesitará navegar y reconciliar estas diferencias de manera constructiva y respetuosa.

En definitiva, el tiempo actual es el tiempo del Homo Supercomplexus porque, de hecho, es el tiempo de lo nuevo, lo desequilibrante, lo que puede irrumpir de forma totalmente imprevista.

El futuro es inasequible a todo cálculo y planificación. Abre un campo de alternativas desafiantes. Por eso el SSC, en este personaje antropológico metafórico, presenta una actitud de entusiasmo para afrontar el presente y enfrentar el futuro, que se nutre en la potencialidad subjetiva pero, sobre todo, en los valores que surgen de

¹³⁸ Morin, al definir al Homo Complexus, señala una característica clave de este concepto que es la habilidad de manejar y vivir con contradicciones internas y externas, argumentando que el ser humano puede contener y operar dentro de lógicas contradictorias, lo cual es parte fundamental de su complejidad. El homo complexus y el Homo Supercomplexus comparten raíces y espíritu, pero el SSC da un salto hacia la combinación estratégica, la operatividad algorítmica y una ética-creatividad que no solo comprende la complejidad, sino que la transforma y la habita de manera lúdica y consciente.

la relacionalidad, del encuentro social, de las historias y símbolos compartidos.¹³⁹

El libre pensamiento es una herramienta clave para romper las limitaciones cognitivas que han moldeado nuestra evolución. Al liberar nuestra mente de creencias rígidas, el pensamiento se vuelve expansivo, capaz de explorar nuevas conexiones. El cerebro ya no sería un mecanismo de defensa, sino un motor de exploración.

El Homo Supercomplexus asume que la teleología del cosmos y la intervención de suprasistemas de control no son más que manifestaciones de un deseo de la mente humana formateada por creencias limitantes, divorciadas de los hechos que la ciencia actual describe. Es por ello que abandona la necesidad de un propósito impuesto desde fuera y, en cambio, asume la responsabilidad de construir sus propios mapas de sentido dentro de la intrincada red de interacciones que lo constituyen. Su ética no se basa en dogmas ni en designios ocultos, sino en la comprensión de que la realidad es el resultado de dinámicas multiescalares en las que él mismo es un nodo, un agente que participa activamente en la perpetua danza de la Supercomplejidad.

La ética estética del "cosmonauta" es una metáfora del viajero que con el disfrute del descubrimiento y de la creatividad viaja sin un destino fijo o predeterminado, con la mente abierta, abrazando la experiencia como fin en sí misma.

Pero no es relativista, ni desenfrenado. Por el contrario, el amor y la amistad son centrales: en la interacción con otros, se disuelven las limitaciones individuales, se multiplican las ideas y se construyen redes de conocimiento colectivo. El amor y la amistad se transforman en una red de apoyo y desarrollo mutuo, una clave para la superación

¹³⁹ El SSC coloca al ser humano en el centro como creador y descriptor de la complejidad, pero también reconoce su lugar en la periferia, al ser un producto de los sistemas complejos que lo anteceden y lo rodean. Este equilibrio entre centralidad y relatividad del ser humano es una posición filosófica central del SSC.

de los límites impuestos por la evolución. Son una respuesta, una responsabilidad.

La felicidad del Homo Supercomplexus no es un punto fijo ni una meta externa, sino un fenómeno emergente que resulta de la interacción entre su identidad, sus vínculos y los sistemas con los que interactúa. Es la capacidad de administrar inteligentemente los flujos de energía, combinando deseo y relacionalidad, expansión y contracción, placer y desafío. Es el arte de cronometraje y mapeo, sabiendo cuándo avanzar, cuándo detenerse, cuándo decir sí y cuándo decir no. Pero, sobre todo, es una actitud de apertura ante la belleza, el conocimiento y la conexión con el universo, la vida y sus sueños. El Homo Supercomplexus encuentra la felicidad en el equilibrio entre su pasión por la verdad, su asombro ante la naturaleza y su capacidad de compartir experiencias con quienes sintonizan su mismo horizonte. Disfruta del trayecto, del aprendizaje y del juego, encontrando en cada estrella, en cada planeta y en cada mirada compartida una nueva combinación para ser feliz.

Finalmente, la superación de los límites humanos es un ideal que puede alcanzarse a través del reconocimiento de nuestra interconexión con los sistemas más amplios que nos rodean. Al dejar de vernos como entidades cerradas y aisladas y empezar a reconocernos como parte de un entramado de energías, morfologías y tiempos interrelacionados, podemos trascender los límites de nuestro propio cuerpo y mente. Esta trascendencia no implica una negación de lo humano, sino una evolución hacia un estado de ser más consciente de nuestra relación con la complejidad.

El Homo Supercomplexus elige una nueva combinación: ante las ambivalencias del control absoluto o del abandono por desesperación y miedo, busca "mantener en vuelo la nave" pero hacerlo en equipo.¹⁴⁰ Esta perspectiva del homo supercomplexus captura la esencia del SSC,

¹⁴⁰ Dentro del SSC, el filósofo no sólo reflexiona sobre lo que es, sino también sobre lo que podría ser. Esto incluye imaginar posibles combinaciones de sistemas y resultados, planteando escenarios que guíen decisiones responsables.

donde la incertidumbre y lo imprevisto no son amenazas, sino oportunidades para aprender, crear y colaborar. Como ya lo hemos sostenido, no hay un orden oculto esperando ser descubierto, sino una realidad que se reconfigura. La incertidumbre epistemológica nace, entonces, de una incertidumbre ontológica.

Al situar al ser humano en el centro de un universo lleno de complejidad, pero reconociendo la necesidad de navegar juntos, el SSC aboga por una ética comunitaria, de encuentro y de resiliencia frente a lo desconocido y lo amenazante. Esta idea refuerza el hecho que la complejidad no se enfrenta en soledad, sino en comunidad, donde la colaboración y el compartir experiencias son fundamentales.¹⁴¹

El Homo Supercomplexus es el resultado de un universo que emerge de la interacción entre múltiples sistemas dinámicos, cada uno con sus propias fluctuaciones, tensiones y equilibrios temporales. Si el universo es autónomo, en el sentido de que su evolución no responde a una causa externa fija ni a un propósito preestablecido, el sujeto humano, como parte de este mismo entramado, comparte esa autonomía. Su conciencia, su cultura y sus decisiones no están determinadas por una lógica única, sino que son configuraciones emergentes de un sistema en constante reorganización. En este contexto, la libertad del Homo Supercomplexus no es una simple ruptura con determinismos previos, sino la capacidad de navegar entre múltiples interacciones, reconociendo que cada elección, cada

¹⁴¹ Para el SSC, el universo también puede interpretarse como un espacio "sauvage" (en el sentido de Lévi-Strauss), un universo en su estado bruto, espontáneo y atemorizante. En este contexto, los seres humanos, como sistemas complejos y conscientes, buscan "cultivar" ese universo a través de la creación de estructuras culturales, científicas y tecnológicas que les permitan no solo sobrevivir más tiempo, sino hacerlo en condiciones de mayor bienestar, adaptabilidad y equilibrio. Este proceso existencial implica transformar lo desconocido en conocido, lo caótico en comportamientos comprensibles y las interacciones no lineales en sistemas que puedan ser descritos, predichos e intervenidos. Sin embargo, el SSC reconoce que el Homo Supercomplexus no busca un control absoluto, sino un equilibrio entre comprender y respetar las dinámicas intrínsecas del cosmos, "surfear la ola" en lugar de intentar contenerla. Así, autoconstruirse como el cultivador consciente de él mismo y de los sistemas de contacto, entendiendo que no sólo modifica el universo, sino que también es modificado por él.

vínculo y cada estructura que construye es un nodo más en la red de interdependencias del universo.

Esta autonomía no es individualista ni aislada, sino relacional: se sostiene en la inteligencia de integrar los flujos de energía, las morfologías estructurales y las conexiones temporales que permiten al sujeto redefinirse y expandirse en función de los sistemas de contacto. En última instancia, el Homo Supercomplexus no busca controlar el mundo ni someterse a él, sino coexistir con su complejidad, comprender su autonomía y participar activamente en su evolución.

El Homo Supercomplexus combina la autenticidad profunda con la ludicidad vital y una sabia aceptación de la finitud. Por un lado, busca la autenticidad en un sentido radical, como la entendía Kierkegaard: la fidelidad a sí mismo, a su experiencia, a su verdad existencial, sin aceptar los dogmas o las respuestas impuestas. Esta autenticidad está ligada al coraje de construir sentido desde la propia existencia, asumiendo la incertidumbre. Al mismo tiempo, asume la ludicidad como actitud esencial: una forma de habitar el mundo desde el juego, la creatividad y la exploración, sin quedar atrapado en la gravedad de los discursos totalizantes ni en la angustia existencial.¹⁴² Pero hay algo más: el Homo Supercomplexus no se desespera ante la finitud, ante la certeza de la muerte. Sin negar la fragilidad y los límites de la existencia, elige vivir sin desesperación, con una actitud serena y luminosa, aceptando que la vida es un juego finito y, precisamente por eso, intensamente valioso. Es que la finitud no impide la expansión, sino que la vuelve significativa, como ocurre con

¹⁴² La ludicidad vital del *Homo Supercomplexus* no es solo un rasgo individual, sino una característica comunitaria esencial. El juego colectivo se convierte en un método eficaz para la resolución de problemas complejos, ya que fomenta la creatividad conjunta, el intercambio de perspectivas y la generación de estrategias colaborativas. A través de dinámicas lúdicas, el grupo no sólo enfrenta los desafíos con mayor flexibilidad, sino que también fortalece los vínculos y amplifica la inteligencia colectiva. En este contexto, el juego no es un simple pasatiempo, sino una herramienta fundamental para enfrentar la complejidad desde la diversidad de enfoques y habilidades.

las interacciones energéticas que se extinguen pero dejan huellas morfológicas.

En la suma de autenticidad, ludicidad y aceptación de la finitud se encuentra una clave profunda de la libertad supercompleja: una libertad que no es solo resistencia al poder o a los dogmas, sino una libertad creadora, alegre y profunda. El Homo Supercomplexus encarna un optimismo postrimeral: una festividad vital que no niega la finitud, sino que la convierte en motivo de creación, juego y autenticidad.

El *Homo Supercomplexus* encarna una nueva ética relacional y evolutiva, donde el crecimiento propio jamás se logra a costa del desarrollo de otros. Su identidad se construye desde la interdependencia y la colaboración, guiándose por el principio de que el avance de un sistema no puede significar el retroceso de otro. Esta expectativa ética del Homo Supercomplexus no responde a una moral externa impuesta, sino que surge de la comprensión profunda de que en un universo supercomplejo, el equilibrio dinámico se mantiene a través del beneficio compartido: el principio win-win (todos ganan).

Como explorador reflexivo y creativo, el Homo Supercomplexus evita la intervención directa que imponga soluciones desde afuera. En cambio, utiliza la especularidad para ayudar a los sistemas a reconocerse a sí mismos en su complejidad, promoviendo el auto-diagnóstico y la autotransformación. No busca dirigir ni controlar, sino acompañar el despliegue de potencialidades desde el reconocimiento de las conexiones y los flujos energéticos que mantienen la cohesión sistémica.

Esta ética relacional se complementa con una actitud democrática genuina, donde la diversidad no es un obstáculo, sino un recurso para enriquecer las decisiones colectivas. El Homo Supercomplexus entiende que el poder centralizado tiende a sofocar la creatividad y la evolución, mientras que la participación abierta y el

diálogo plural potencian el desarrollo de estrategias adaptativas y transformadoras.

El Homo Supercomplexus no es sólo un pensador, sino también un practicante: diseña algoritmos que respetan la vida, crea mapas que honran la diversidad, y navega la incertidumbre con una conciencia estética y axiológica. Mientras el paradigma moderno soñó con conquistar el universo a fuerza de certidumbre, el Homo Supercomplexus, como el sabio taoísta o el meditador zen, aprende a surfearlo. Su ciencia no busca el control absoluto, sino la resonancia. Su filosofía no cristaliza dogmas, sino que cultiva preguntas. Y su existencia no es una carrera lineal, sino una danza entre órdenes y desórdenes.

Lejos de la lógica monopólica que concentra recursos y saberes en pocas manos, el Homo Supercomplexus propone una ética de la coevolución, donde cada sistema aporta su singularidad en un tejido común de experiencias. La autonomía personal no se opone al bienestar colectivo, sino que se construye en consonancia con los demás, reconociendo que el verdadero avance humano depende de la capacidad de generar redes de colaboración genuina y responsable.

En definitiva, combinamos tres metáforas para describir esta nueva antropología: la del Homo Supercomplexus, la del astronauta cósmico y la del primate lúdico. La relación simbólica entre ellas se articula siguiendo diferentes modalidades. El primer símbolo representa la dimensión cognitiva, ética y filosófica de la humanidad. Es el ser que busca comprender, mapear y surfear la complejidad del universo, asumiendo una posición de responsabilidad y sabiduría. El segundo, en cambio, encapsula el espíritu explorador y relacional. Es el viajero que no solo navega el cosmos físico, sino también los universos del pensamiento, la ciencia y la experiencia. Es el constructor de sentido por sobre el sinsentido. El primate lúdico es el recordatorio de nuestra naturaleza biológica, instintiva y creativa. Reconoce que somos animales sociales que evolucionaron a través del

juego, la interacción y la curiosidad. Este símbolo añade un matiz de espontaneidad y disfrute de la existencia.

Una propuesta educativa basada en estas metáforas buscaría desarrollar en los participantes un pensamiento relacional, fomentando la curiosidad, la creatividad y el disfrute en el aprendizaje.¹⁴³ Se estructuraría en torno a actividades interdisciplinarias que integran análisis de sistemas complejos, proyectos de exploración abiertos y dinámicas lúdicas como juegos de rol, simulaciones y diseño creativo. Esta educación valoraría la autonomía reflexiva, la gestión de la incertidumbre, la colaboración, la innovación, el deseo de encontrar soluciones, el placer por trabajar en equipo. El objetivo sería formar individuos capaces de enfrentar los desafíos del mundo actual con ética, creatividad y entusiasmo, viendo el aprendizaje como un proceso continuo y transformador.¹⁴⁴

Para el SSC, somos un primate que juega, un astronauta que explora y un Homo Supercomplexus que comprende. En el cruce de lo lúdico, lo cósmico, lo complejo y lo supercomplejo, encontramos nuestra verdadera humanidad, el respeto por todas las formas de vida y también el potencial para transformar nuestro lugar en el universo.

¿Qué tienen en común Demócrito, Hypatia de Alejandría, Leonardo Da Vinci, Copérnico, Galileo, Mendeleiev, Darwin, Marie Curie, Tesla y Einstein entre otros personajes que transformaron la historia? Tres características esenciales: su divergencia con el pensamiento dominante de su época, una metodología para generar conocimiento y una actitud auténtica y personal frente a la existencia. Todos ellos poseían una matriz.

¹⁴³ El Homo Supercomplexus reconoce que su pensamiento y acción están mediados por un lenguaje que no es neutral, sino cargado de intenciones y significados emergentes. Adoptar una perspectiva supercompleja del lenguaje implica cuestionar continuamente los conceptos y aceptar la polifonía de significados que surgen de la comunicación humana. Esto fortalece una ética estética orientada hacia la comprensión profunda y el diálogo respetuoso, fundamental en contextos de alta complejidad social.

¹⁴⁴ La Comunidad del SSC está desarrollando un proyecto educativo que detalla ampliamente nuestra propuesta, adaptándola a diversas modalidades.

El SSC es la filosofía que impulsa al Homo Supercomplexus a construir esa matriz, una manera particular de concebir la ciencia, el conocimiento y el desarrollo tecnológico. Parte de la imagen de un universo interconectado, donde la diversidad surge a partir de combinaciones e imbricaciones estocásticas (aleatorias) de energía (flujos, información), espacio (morfología estructural, relaciones) y tiempo (conexión, ritmo). Así, el SSC propone que hay posiciones ante el universo, la vida y el aprendizaje que pueden estructurarse como una matriz.

Los interrogantes que organizan esta modalidad de pensamiento y actitud son:

1. **ENERGÍA:** ¿Cómo se modifica la energía en el universo? ¿Qué lugar ocupamos los seres humanos y cómo aprovechamos esa energía para crecer, aprender y realizar nuestras expectativas? ¿Qué estrategias utilizo para administrar, sostener o acrecentar mi potencial cognitivo, emocional y actitudinal? ¿Qué creencias y deseos me movilizan o me limitan?
2. **ESPACIO:** ¿Cuáles son las interconexiones en el universo físico, químico y biológico que permiten la sobrevivencia de un sistema? ¿Qué sistemas potencian mis proyectos personales sin comprometer mi autonomía? ¿Cuándo es favorable colaborar y cuándo competir? ¿Cuándo rebelarme o aceptar a las estructuras dominantes?
3. **TIEMPO:** ¿Cuánto tiempo le llevó al universo y a la vida consolidar modalidades de energía y estructuras resilientes? ¿Cómo puedo equilibrar trabajo, satisfacción y descanso para obtener resultados positivos sin desgastarme? ¿Cómo impactan mis acciones a corto y largo plazo en mi entorno?

Quien comienza a pensar en estos términos, aplicando estos interrogantes, cultivando una disciplina cognitiva y manteniéndose vigilante respecto a sus actitudes, irá construyendo una matriz supercompleja que le permitirá reescribir su historia personal y la de quienes comparten su camino. Esta matriz lo elevará en la percepción

de sus capacidades y talentos y le proporcionará satisfacción profunda y significativa.

Al igual que los grandes personajes de la historia, podrá mantener el entusiasmo y la creatividad para ser crítico, aportar nuevas modalidades de pensamiento y conectar(se) con todos los aspectos de la realidad. Verá cómo cada elemento puede ser sinérgico a sus proyectos, encontrando en la investigación, el juego y el amor, los elementos esenciales para vivir y compartir su existencia con los seres significativos y con todas las formas de vida.

En definitiva, esta matriz supercompleja no solo nos invita a pensar, sino, sobre todo, a ser: ser desafiantes frente a las estructuras de poder y alienación de nuestra época, ser integradores de saberes diversos, ser anticipadores de futuros posibles. Los grandes personajes no solo se destacaron por sus descubrimientos, sino por su manera de organizar las preguntas, conectar lo inconexo y abrir nuevas posibilidades de comprensión y acción sobre la realidad.

El Homo Supercomplexus no emerge de la nada. Su capacidad para surfear la complejidad del universo está alimentada por aquellos y aquellas que, a lo largo de la historia, se atrevieron a pensar diferente. Son los precursores, los adelantados, los insumisos del pensamiento lineal, los que abrieron senderos hacia nuevas formas de ver, conectar y transformar. Cada uno, en su tiempo, rompió con paradigmas previos y forjó herramientas conceptuales que hoy nutren el nuevo paradigma supercomplejo.

Supieron ver más allá de lo visible, unir lo separado, y crear sentido donde antes había dogma o vacío. A través de la imaginación combinatoria, la observación fina, el coraje intelectual y la sensibilidad ante lo nuevo, expandieron los límites de la comprensión humana.

El Homo Supercomplexus los reconoce como sus ancestros simbólicos para recordar que pensar libremente, relacionar creati-

vamente y actuar con ética estética ante lo desconocido no es una excentricidad: es la forma más plena de habitar la inteligencia.

La matriz supercompleja es el mapa para habitar la complejidad sin perderse, para pensar sin dejar de ser y para crear sin olvidar que estamos todos conectados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, Juan, and Leonardo Rodríguez Zoya. "Teorías de la complejidad y ciencias sociales. Nuevas estrategias epistemológicas y metodológicas." *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, vol. 30, núm. 2, 2011.
- Barabási, Albert-László. *Linked: The New Science of Networks*. Perseus Publishing, 2002.
- ---. *Network Science*. Cambridge University Press, 2016.
- Barrow, John D. *The Constants of Nature: The Numbers That Encode the Deepest Secrets of the Universe*. Pantheon Books, 2002.
- Bateson, Gregory. *Steps to an Ecology of Mind: Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution, and Epistemology*. Jason Aronson Inc., 1972.
- Beer, Stafford. *Brain of the Firm*. John Wiley & Sons, 1981.
- ---. *Cybernetics and Management*. English Universities Press, 1959.
- Bejan, Adrian, and J. Peder Zane. *Design in Nature: How the Constructal Law Governs Evolution in Biology, Physics, Technology, and Social Organization*. Anchor, 2013.
- Bertalanffy, Ludwig von. *Teoría general de sistemas: fundamentos, desarrollo y aplicaciones*. George Braziller, 1968.
- Bohm, David. *La totalidad y el orden implicado*. Routledge, 1980.
- ---. *Totalidad y orden implícito*. Routledge, 1980.
- Bourdieu, Pierre. *El sentido práctico*. Siglo XXI Editores, 2007.
- ---. *La distinción. Criterios y bases sociales del gusto*. Taurus, 1979.
- Capra, Fritjof. *La red de la vida: una nueva comprensión científica de los sistemas vivos*. Anchor Books, 1996.
- ---. *The Web of Life: A New Scientific Understanding of Living Systems*. Anchor Books, 1996.

- Capra, Fritjof, and Pier Luigi Luisi. *The Systems View of Life: A Unifying Vision*. Cambridge University Press, 2014.
- Cardozo Brum, Myriam. "Las ciencias sociales y el problema de la complejidad." *Argumentos* (México), vol. 24, núm. 67, 2011.
- Castells, Manuel. *La era de la información: economía, sociedad y cultura*. Vol. 1, *La sociedad red*. Alianza Editorial, 1997.
- Chaisson, Eric. *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*. Harvard University Press, 2001.
- Chalmers, David J. *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*. Oxford University Press, 1996.
- Chalmers, David. *La mente consciente: En busca de una teoría fundamental*. Gedisa, 1999.
- Cilliers, Paul. *Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems*. Routledge, 2002.
- Clark, Andy. *Supersizing the Mind: Embodiment, Action, and Cognitive Extension*. Oxford University Press, 2008.
- Damasio, Antonio. *El error de Descartes: la emoción, la razón y el cerebro humano*. 3rd ed., Editorial Andrés Bello, 1999.
- ---. *El sentimiento de lo que ocurre: Cuerpo y emoción en la construcción de la conciencia*. Harcourt, 1999.
- ---. *The Strange Order of Things: Life, Feeling, and the Making of Cultures*. Pantheon, 2018.
- Davies, Paul. *The Cosmic Blueprint: New Discoveries in Nature's Creative Ability to Order the Universe*. Simon & Schuster, 1989.
- ---. *The Goldilocks Enigma: Why Is the Universe Just Right for Life?* Mariner Books, 2007.
- Dehaene, Stanislas. *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts*. Viking, 2014.

- Deleuze, Gilles, and Félix Guattari. *Mil mesetas: Capitalismo y esquizofrenia*. PRE-TEXTOS, 2010.
- Derrida, Jacques. *De la gramatología*. 4th ed., Editorial Siglo XXI, 1986.
- Deutsch, David. *The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes -and Its Implications*. Penguin Books, 1998.
- Dirac, Paul A. M. "The Cosmological Constants." *Nature*, vol. 139, 1937.
- Donald, Merlin. *Origins of the Modern Mind: Three Stages in the Evolution of Culture and Cognition*. Harvard University Press, 1993.
- Eco, Umberto. *Tratado de semiótica general*. Translated by Carlos Manzano, 5th ed., Lumen, 2000.
- Edelman, Gerald M. *Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection*. Basic Books, 1987.
- Eigen, Manfred. "Autoorganización de la materia y la evolución de macromoléculas biológicas." *Naturwissenschaften*, 1971.
- Einstein, Albert. "On the Electrodynamics of Moving Bodies." *Annalen der Physik*, vol. 17, 1905, pp. 891–921.
- Erikson, Erik. *Identity and the Life Cycle*. International Universities Press, 1959.
- Farmer, J. Dooyne. *Making Sense of Chaos: A Better Economics for a Better World*. Penguin Books Limited, 2024.
- Friston, Karl. "The Free-Energy Principle: A Unified Brain Theory?" *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 11, 2010, pp. 127–138.
- Geertz, Clifford. *La interpretación de las culturas*. Editorial Gedisa, 2003.
- ---. *The Interpretation of Cultures*. Basic Books, 1973.
- Gell-Mann, Murray. *El quark y el jaguar: Aventuras en lo simple y lo complejo*. Tusquets Editores, 1995.
- ---. *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*. W. H. Freeman, 1994.

- ---. "What is Complexity? Remarks on Simplicity and Complexity by the Nobel Prize-Winning Author of *The Quark and The Jaguar*." *Complexity*, 1995.
- Gell-Mann, Murray, and Seth Lloyd. "Effective Complexity." Santa Fe Institute, SFI Working Paper, 12(068), 2003.
- Gilbert, Nigel, and Klaus G. Troitzsch. *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press, 2005.
- Goodwin, Brian. *How the Leopard Changed Its Spots: The Evolution of Complexity*. Princeton University Press, 2001.
- Granovetter, Mark. "The Strength of Weak Ties." *American Journal of Sociology*, vol. 78, no. 6, 1973, pp. 1360-1380.
- Greene, Brian. *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality*. Vintage, 2004.
- Guth, Alan H. *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*. Addison-Wesley, 1997.
- Hawking, Stephen. *Breve historia del tiempo: desde el Big Bang hasta los agujeros negros*. Bantam, 1990.
- Heisenberg, Werner. "The Physical Content of Quantum Kinematics and Mechanics." *Quantum Theory and Measurement*, edited by John A. Wheeler and Wojciech H. Zurek, Princeton University Press, 1983, pp. 62-84. [Originally Published: *Z. Phys.*, vol. 43, no. 3-4, 1927, pp. 172-198].
- Herbert, A. Simon. "The Architecture of Complexity." *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 106, no. 6, 1962.
- Hofstadter, Douglas R. *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid. A metaphorical fugue on minds and machines in the spirit of Lewis Carroll*. Basic Books, 1979.
- ---. *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. Basic Books, 1999.
- Holland, John H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. Massachusetts Institute of Technology, 1992.

- ---. Complexity: A Very Short Introduction. Oxford University Press, 2014.
- ---. Emergence: From Chaos to Order. Helix Books, 1999.
- ---. Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity. Helix Books, 1996.
- ---. Signals and Boundaries: Building Blocks for Complex Adaptive Systems. MIT Press, 2014.
- Hughes, Terry P., et al. "Global Warming and Recurrent Mass Bleaching of Corals." *Nature*, vol. 543, no. 7645, 2017.
- Ibañez, Eduardo Alejandro. *El ABC de la Teoría del Caos*. UCSF, 2006.
- Jantsch, Erich. *The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*. Pergamon Press, 1980.
- Johnson, Neil. *Simply Complexity: A Clear Guide to Complexity Theory*. Oneworld Publications, 2009.
- Johnson, Steven. *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software*. Scribner, 2002.
- Jung, Carl G. *El hombre y sus símbolos*. Paidós, 1984.
- Kauffman, Stuart. *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford University Press, 1995.
- ---. *Humanity in a Creative Universe*. Oxford University Press, 2016.
- ---. *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press, 1993.
- ---. *Reinventing the Sacred: A New View of Science, Reason, and Religion*. Basic Books, 2010.
- ---. *A World Beyond Physics: The Emergence and Evolution of Life*. Oxford University Press, 2019.
- Kitano, Hiroaki. "Systems Biology: A Brief Overview." *Science*, vol. 295, no. 5560, 2002, pp. 1662-1664.
- Klein, Oskar. "Quantum Theory and Five-Dimensional Theory of Relativity." *Zeitschrift für Physik*, vol. 37, 1926.
- Koch, Christof. *La conciencia: una aproximación neurobiológica*. Ariel, 2005.

- ---. The Quest for Consciousness: A Neurobiological Approach. Roberts & Company, 2004.
- Krakauer, David C., editor. Worlds Hidden in Plain Sight: The Evolving Idea of Complexity at the Santa Fe Institute, 1984–2019. Santa Fe Institute Press, 2019.
- Kurzweil, Ray. The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology. Viking, 2005.
- Ladyman, James, Karoline Lambert, and Kristen Wiesner. "What Is a Complex System?" European Journal for Philosophy of Science, vol. 3, 2013.
- Laszlo, Ervin. The Systems View of the World: A Holistic Vision for Our Time. Hampton Press, 1996.
- Lefebvre, Henri. La producción del espacio. Capitán Swing, 2013.
- Lewin, Roger. Complexity: Life at the Edge of Chaos. 2nd ed., University of Chicago Press, 2000.
- Linde, Andrei. Particle Physics and Inflationary Cosmology. CRC Press, 1990.
- Lloyd, Seth. Programming the Universe: A Quantum Computer Scientist Takes on the Cosmos. Knopf, 2007.
- Lo, Andrew W. Adaptive Markets: Financial Evolution at the Speed of Thought. Princeton University Press, 2017.
- Lorenz, Edward N. The Essence of Chaos. University of Washington Press, 1993.
- Luhmann, Niklas. Sistemas sociales: Lineamientos para una teoría general. Anthropos Editorial, 1998.
- ---. Social Systems. Stanford University Press, 1995.
- Magueijo, João. Faster Than the Speed of Light: The Story of a Scientific Speculation. Perseus Books, 2003.
- Maldonado, Carlos Eduardo. Filosofía de la Complejidad: Un Nuevo Paradigma de la Ciencia. Siglo del Hombre Editores, 2008.

- ---. Las ciencias de la Complejidad son Ciencias de la Vida. Trepen Ediciones, 2021.
- ---. "El problema de una teoría general de la complejidad." Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicaciones, edited by Carlos E. Maldonado, Editorial Universidad Externado de Colombia, 2007, pp. 101–132.
- Maturana, Humberto, and Francisco Varela. Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living. D. Reidel Publishing Co., 1980.
- ---. Autopoiesis y cognición: la realización de lo viviente. D. Reidel Publishing, 1980.
- ---. El árbol del conocimiento: Las bases biológicas del entendimiento humano. Lumen, 2003.
- ---. The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding. Shambhala Publications, 1987.
- Mead, George H. Mind, Self, and Society. University of Chicago Press, 1934.
- Meadows, Donella H. Thinking in Systems: A Primer. Sustainability Institute, 2008.
- Merzenich, Michael. Soft-Wired: How the New Science of Brain Plasticity Can Change Your Life. 2nd ed., Parnassus Publishing, 2013.
- Mesa López, Neftalí. Manual de Morfología Vegetal Externa. Sello Editorial Universidad del Tolima, 2020.
- Miller, John H., and Scott E. Page. Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life. Princeton University Press, 2007.
- Minkowski, Hermann. Space and Time: Minkowski's Papers on Relativity. Minkowski Institute Press, 2012.
- Mintzberg, Henry. Mintzberg on Management: Inside Our Strange World of Organizations. Free Press, 1989.
- ---. The Nature of Managerial Work. Harper & Row, 1973.
- Mitchell, Melanie. An Introduction to Genetic Algorithms. MIT Press, 1998.

- ---. Artificial Intelligence: A Guide for Thinking Humans. Farrar, Straus and Giroux, 2019.
- ---. Complexity: A Guided Tour. Oxford University Press, 2009.
- Montealegre Torres, Jorge Luis. "Corrientes de la Complejidad: Convergencias y divergencias." Revista de Ciencias Sociales, vol. 26, núm. 1, 2020.
- ---. "Corrientes de la complejidad: convergencias y divergencias." Eidos: Revista de Filosofía de la Universidad del Norte, vol. 32, 2020, pp. 359-385.
- Morin, Edgar. Introduction à la pensée complexe. ESF éditeur, 1990.
- ---. Introduction to Complex Thought. Hampton Press, 2005.
- ---. La Méthode: La Nature de la Nature. Seuil, 1977.
- ---. On Complexity. Hampton Press, 2008.
- ---. Seven Complex Lessons in Education for the Future. UNESCO, 2001.
- Paul, Tegmark. Our Mathematical Universe: My Quest for the Ultimate Nature of Reality. Knopf, 2014.
- Peirce, Charles S. La ciencia de la semiótica. Ediciones Nueva Visión, 1974.
- Penrose, Roger. Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe. Vintage, 2012.
- ---. The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics. Oxford University Press, 2002.
- ---. Las sombras de la mente: Hacia una comprensión científica de la conciencia. Editorial Crítica, 2012.
- ---. Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness. Oxford University Press, 1994.
- Pessoa, Luiz. Complex Systems: The Science of Interacting Parts. 2021.
- Poincaré, Henri. Science and Hypothesis. Dover Publications, 1952.
- Prigogine, Ilya. El fin de las certidumbres. Andrés Bello, 1996.
- Prigogine, Ilya, and Isabelle Stengers. La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia. Translated by Manuel García, Alianza Editorial, 2004.

- ---. Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature. Bantam Books, 1984.
- Reynoso, Carlos. Modelos o metáforas: Crítica del paradigma de la complejidad de Edgar Morin. 2015.
- Rodríguez Zoya, Leonardo. Desafíos del paradigma de la complejidad: Implicancias políticas, epistemológicas y metodológicas para las ciencias del Siglo XXI. Comunidad Editora Latinoamericana, 2013.
- ---. "Problematización de la complejidad de los sistemas de pensamiento: un modelo epistemológico para la investigación empírica de los paradigmas." Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales, vol. 7, núm. 2, 2017.
- Rodríguez Zoya, Leonardo, and Paula Rodríguez Zoya. "El espacio controversial de los sistemas complejos." Estudios de Filosofía, vol. 50, 2014, pp. 103–129.
- Rovelli, Carlo. El orden del tiempo. Anagrama, 2018.
- Saussure, Ferdinand de. Curso de lingüística general. Editorial Losada, 1945.
- Searle, John R. Los actos de habla: un ensayo de filosofía del lenguaje. Editorial Planeta Argentina, 1994.
- Smith, Sally E., and David J. Read. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd ed., Academic Press, 2010.
- Smolin, Lee. The Life of the Cosmos. Oxford University Press, 1999.
- ---. Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe. Houghton Mifflin, 2013.
- Sole, Ricard V., and Brian C. Goodwin. Signs of Life: How Complexity Pervades Biology. Basic Books, 2000.
- Stacey, Ralph D. Gestión estratégica y dinámica organizacional: el desafío de la complejidad para las formas de pensar sobre las organizaciones. Pearson, 2001.

- Stiefkens, Laura Beatriz, et al. *Morfología Vegetal: Guía de Trabajos Prácticos*. Sima Editora, 2017.
- Strogatz, Steven. *Sync: The Emerging Science of Spontaneous Order*. Hyperion, 2003.
- Theise, Neil. *Notes on Complexity: A Scientific Theory of Connection, Consciousness, and Being*. Spiegel & Grau, 2023.
- Turnbaugh, Peter J., et al. "The Human Microbiome Project." *Nature*, vol. 449, no. 7164, 2007.
- Turok, Neil, and Paul Steinhardt. *Endless Universe: Beyond the Big Bang*. Doubleday, 2007.
- Uzan, Jean-Pierre. "The Fundamental Constants and Their Variation: Observational and Theoretical Status." *Reviews of Modern Physics*, vol. 75, no. 2, 2003, pp. 403-455.
- Varela, Francisco J., Evan Thompson, and Eleanor Rosch. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Revised ed., The MIT Press, 2017.
- Vilenkin, Alexander. *Many Worlds in One: The Search for Other Universes*. Hill and Wang, 2006.
- Von Bertalanffy, Ludwig. *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. George Braziller, 1968.
- Von Foerster, Heinz. *Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition*. Springer-Verlag, 2003.
- Waldrop, M. Mitchell. *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. Simon & Schuster, 1993.
- Watts, Duncan J. *Everything Is Obvious: Once You Know the Answer*. Crown Business, 2011.
- ---. *Six Degrees: The Science of a Connected Age*. W. W. Norton & Company, 2003.

- ---. Small Worlds: The Dynamics of Networks between Order and Randomness. Princeton University Press, 1999.
- Webb, J.K., et al. "Further Evidence for Cosmological Evolution of the Fine Structure Constant." Physical Review Letters, vol. 87, 2001.
- West, Geoffrey. Scale: The Universal Laws of Life, Growth, and Death in Organisms, Cities, and Companies. Penguin Press, 2018.
- Whitehead, Alfred North. Proceso y realidad. Editorial Losada, 1956.
- Wiener, Norbert. Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine. 2nd ed., MIT Press, 1985.
- ---. Cybernetics: Second Edition: Or the Control and Communication in the Animal and the Machine. Quid Pro, LLC, 2016.
- Wittgenstein, Ludwig. Investigaciones filosóficas. Editorial Crítica, 1988.
- Wolfram, Stephen. A New Kind of Science. Wolfram Media, 2002.
- Zee, Anthony. Fearful Symmetry: The Search for Beauty in Modern Physics. Princeton University Press, 2007.



www.sabersupercomplejo.com



Acceso al Nodo Inteligente
del Saber Supercomplejo

