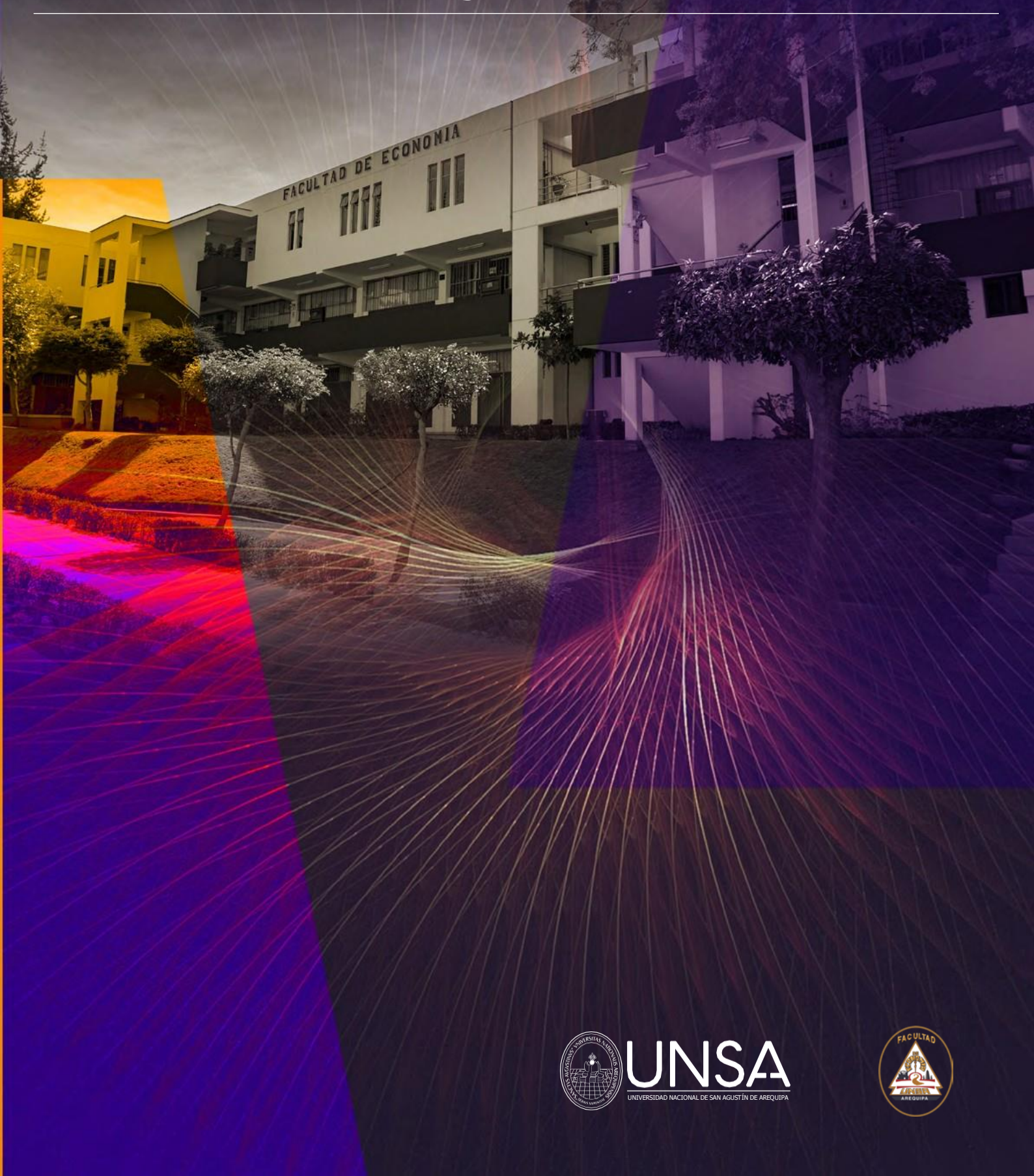


# Ciencias de la complejidad

Revista de la Unidad de Investigación  
de la Facultad de Economía de la UNSA

AÑO 1 / 2020 / NOVIEMBRE N° 01



**UNSA**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA



## Decano de la Facultad de Economía

Mg. Alejandro Chávez Medrano

## Equipo Editorial

### Editor

Dr. Glenn Arce Larrea

### Consejo Editorial

Dr. Eligio Cruz Leandro (México)

Dr. Nelson Alfonso Gómez Cruz (Colombia)

Dr. Carlos Eduardo Maldonado (Colombia)

Dr. Leonardo G. Rodríguez Zoya (Argentina)

Dra. Mary Nely Vásquez Perez (España)

Dr. Miguel Ramón Viguri Axpe (España)

Dra. Wendy Ugarte Mejía (Perú)

### Investigadores Junior Asociados

Srta. Graciela Anayka Bailon Huayhua (estudiante)

Srta. Angela Daniela Portugal Pacheco (estudiante)

Bach. Giancarlo Alonso Torres León

### Edición y Diseño

Mg. María Luisa Paricahua Peralta

Lic. Jaime Mamani Velásquez

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN  
DE AREQUIPA**

**Facultad de Economía**

Unidad de Investigación de la Facultad de Economía

[cienciasdelacomplejidad@unsa.edu.pe](mailto:cienciasdelacomplejidad@unsa.edu.pe)

<http://fec.unsa.edu.pe/revista-ciencias-de-la-complejidad/>

[www.unsa.edu.pe](http://www.unsa.edu.pe)

5

Prólogo

---

**Computación interactiva y emergente  
en colonias de hormigas**

7

**Dr. Nelson Alfonso Gómez-Cruz**

Centro de Innovación, Escuela de Administración,  
*Universidad del Rosario* / Laboratorio de Sistemas Inteligentes,  
Facultad de Ingeniería, *Universidad Nacional de Colombia*

---

**La Biosemiótica como una de las Ciencias de la Complejidad**

23

**Dr. Carlos Eduardo Maldonado**

Profesor Titular / Facultad de Medicina / *Universidad El Bosque*

---

**Ciencia, política y problemas complejos**

37

**Dr. Leonardo G. Rodríguez Zoya**

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y  
Técnicas (CONICET) / Instituto de Investigaciones Gino Germani  
/ *Universidad de Buenos Aires*

---

**“El Pensamiento Complejo en las Ciencias Sociales: hacia una  
nueva Organización de la Empresa”**

51

**Dra. María Nely Vásquez Pérez**

Profesora de la Facultad de Teología del Norte de España, Sede  
de Vitoria. Investigadora Invitada del Instituto de  
Investigaciones Gino Germani, *Universidad de Buenos Aires*, Ar-  
gentina

**Dr. Miguel Ramón Viguri Axpe**

Profesor de la Facultad de Ciencias Sociales y Humanas,  
*Universidad de Deusto*, Bilbao, España. Investigador Invitado del  
Instituto de Investigaciones Gino Germani, *Universidad de Bue-  
nos Aires*, Argentina

---

**América Latina, complejidad e interdisciplina, en búsqueda de  
modelos y programas públicos alternativos. Caso México.**

67

**Dr. Eligio Cruz Leandro**

Académico del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la  
*Universidad Nacional Autónoma de México*

## Finanzas y Complejidad

**Glenn Roberto Arce Larrea**

glenn@unsa.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-6949-9001>

Universidad Nacional De San Agustín

**Angela Daniela Portugal Pacheco**

aportugal@unsa.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-3096-3740>

Universidad Nacional de San Agustín

**Wendy Anne Ugarte Mejía**

wugartem@unsa.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-2185-5887>

Universidad Nacional de San Agustín

79

---

Índice

## Prólogo

La incertidumbre, las bifurcaciones, la inestabilidad, el escaparse de la linealidad, son algunas de las características de una de las ciencias de vanguardia que disrumpe el status quo de la linealidad en la que el ser humano vive; hablamos de: "la complejidad". En concordancia, en la Unidad de Investigación de la Facultad de Economía quisimos encontrar a los científicos que nos ayudaran a editar una revista no tradicional y sobre todo que aborde temas no-lineales; como dice C. E. Maldonado, que no se encuentren en la zona normal de la campana de Gauss, y con ello, lograr aglutinar a las mejores mentes que nos ayuden a entender mejor que el problema central esta en comprender, analizar y diagnosticar a la vida. El resultado es este primer número de la Revista Ciencias de la Complejidad, la primera revista específicamente dedicada a la complejidad en el espectro hispanohablante.

En esta primera edición tenemos artículos científicos que desarrollan diferentes temas como la biosemiótica una de las ciencias de la complejidad de una parte del grupo más destacado de investigadores en América Latina en complejidad. La complejidad, que pone de manifiesto, abiertamente, lo que realmente importa que son las ciencias de la vida. Así, el primer artículo se ocupa de las relaciones entre biosemiótica y complejidad y propone la tesis que la biosemiótica puede y debe ser considerada como una de las ciencias de la complejidad; está escrito por Carlos Eduardo Maldonado. Otro de los artículos busca una explicación del pensamiento complejo en las ciencias sociales, que nos conduce a una nueva organización de la empresa, de los profesores María Nely Vásquez Pérez y Miguel Ramón Viguro Axpe. Asimismo, el artículo del profesor Leonardo Rodríguez-Zoya propone y desarrolla el concepto de problemas complejos para repensar el vínculo entre la ciencia y la política. Otro artículo, estudia las relaciones entre América Latina, la complejidad y la interdisciplinariedad buscando modelos y programas que puedan contribuir a las políticas públicas, con énfasis en México; este es un artículo del profesor Eligio Cruz Leandro. El artículo del profesor Nelson Alfonso Gómez-Cruz es una investigación sobre computación interactiva y emergente en colonias de hormigas, que es una de las aristas más importantes en la interface entre complejidad y computación y finalmente, nuestro artículo de finanzas y complejidad que tratara de romper viejos paradigmas.

La revista Ciencias de la Complejidad es de acceso abierto; tendrá una periodicidad semestral en la cual existe un comité científico que nos ayudara a evaluar los artículos que serán publicados y así cumplir con una de las exigencias científicas para llegar a ser una revista de alto impacto.

Agradecemos a las autoridades de la Facultad de Economía que nos apoyaron a lograr este gran reto.

Dr. Glenn Arce Larrea



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN

117

# Computación interactiva y emergente en colonias de hormigas

**Nelson Alfonso Gómez-Cruz**

Centro de Innovación, Escuela de Administración, Universidad del Rosario  
Laboratorio de Sistemas Inteligentes, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia

[nelson.gomez@urosario.edu.co](mailto:nelson.gomez@urosario.edu.co)

Orcid: 0000-0001-9594-1441

Recepción: 29/10/2020

Aceptación: 18/11/2020

## Resumen

Los sistemas vivos procesan información; esto es lo que hacen para vivir. La capacidad de procesar información es, de hecho, uno de los rasgos más sobresalientes de los sistemas complejos adaptativos en general. Se suele aceptar, desde la biología y las ciencias de la computación, que el modelo estándar de computación algorítmica, representado por la máquina de Turing, establece los límites teóricos de lo que la vida puede computar y lo que no. Pese a ello, el tipo de computaciones que realizan los sistemas vivos difiere en maneras fundamentales de las soportadas por la máquina de Turing. En este artículo se demuestra que el sistema de navegación que emplean individualmente las hormigas y las estrategias colectivas para la recolección óptima de alimentos que usa la colonia no se pueden reducir a formas de computación algorítmica. Esta idea justifica la necesidad de desarrollar nuevos modelos de computación que nos permitan desentrañar la lógica computacional y la complejidad de la vida.

## Palabras clave

Sistemas complejos; computación interactiva; computación emergente; colonias de hormigas; forrajeo; sistema de navegación en hormigas

## Introducción: complejidad y cognición en las colonias de hormigas

Actualmente, se estima que existen entre 14.000 y 20.000 especies de hormigas que se extienden a través de todos los hábitats terrestres del planeta (Gordon, 2016a; Hölldobler & Wilson, 2014). Algunas de ellas llegan a conformar colonias de hasta 300 millones de individuos. Su comportamiento social está soportado en sistemas de comunicación sofisticados que involucran señales químicas y otras señales complejas en las que intervienen el olfato, el gusto, las vibraciones (sonidos) y el tacto. Desde el punto de vista ecológico, el comportamiento colectivo de una colonia es equiparable al de un organismo (Gordon, 2010): nace, crece, se reproduce y muere. La expectativa de vida de una colonia oscila entre 25 y 30 años (Gordon, 2016a). Debido a su organización coherente y cooperativa, a las colonias de hormigas se les denomina *superorganismos* (Hölldobler & Wilson, 2014).

Las colonias de hormigas han sido reconocidas, desde hace algunas décadas, como

*sistemas complejos adaptativos* (SCA) (Gordon, 2010; Mitchell, 2009; Dorigo & Stützle, 2004; Bonabeau, 1998; Hölldobler & Wilson, 1990). Un SCA es aquel cuya organización, dinámica y función resultan de la acción autónoma, paralela, distribuida, asíncrona e interactiva entre sus múltiples componentes. Los

SCA exhiben, de manera fundamental, procesamiento sofisticado de información y adaptación mediante aprendizaje o evolución (Gómez-Cruz, 2013; Mitchell, 2009). "Para comprender cómo la acción coordinada de los componentes logra desplegar patrones colectivos de organización espaciotemporal, es necesario considerar por lo menos dos niveles diferentes de observación. La escala local (o microescala), donde operan e interactúan los componentes del sistema. Y la escala global (o macroescala), donde aparecen los *patrones agregados*, que pueden ser estructurales, comportamentales o funcionales" (Gómez-Cruz, 2018).

En la microescala, las capacidades funcionales de cada hormiga son restringidas con respecto a las demandas del ambiente; su capacidad para acceder a información del entorno es incompleta, y su interacción, que puede ser directa o mediada por el entorno, es estrictamente local. En la macroescala, por su parte, surge una red de procesamiento de información que opera de manera *autoorganizada*, es decir, sin la acción de un líder o de un controlador externo. De la red *emergen* patrones agregados complejos que ninguna hormiga podría llevar a cabo por sí sola. Algunos patrones comunes incluyen la construcción, reparación o extensión del nido; la búsqueda y recolección de alimento; la clasificación, alimentación y cuidado de los huevos, las larvas y las pupas; la asignación dinámica de tareas, entre otros (Gordon, 2016a; 2016b; Bonabeau, Dorigo & Theraulaz, 1999).

Adicionalmente, algunas especies llevan a cabo funciones especializadas que han evolucionado a partir de contextos ecológicos y fisiológicos particulares (Gordon, 2016b). Las hormigas cortadoras (*Atta*), por ejemplo, cortan y transportan las hojas de las plantas para cultivar hongos dentro del nido que luego consumen y brindan como alimento a las crías. Las hormigas legionarias (*Eciton*) construyen puentes con sus propios cuerpos con el fin de superar precipicios y obstáculos de manera eficiente (Bonabeau et al., 1999). Las hormigas tejedoras (*Oecophylla*) elaboran sus nidos a partir de las hojas vivas de los árboles, empleando seda para unirlos. También son capaces de atrapar y transportar animales de gran tamaño, como escorpiones, u ordeñar comunidades de áfidos por periodos extensos como si fueran "ganado". Las hormigas negras (*Lasius*), por su parte, agrupan los cadáveres en pilas a la ma-

nera de "cementorios". Todos estos patrones agregados involucran capacidades computacionales y cognitivas tanto individuales como colectivas (Feinerman & Korman, 2017; Dornhaus & Franks, 2008). Desde el punto de vista cognitivo, las colonias de hormigas pueden ser entendidas como *cerebros líquidos* (Solé, Moses & Forrest, 2019). Para este tipo de sistemas no hay una arquitectura fija ni conexiones persistentes, como en el cerebro humano. En el caso de las hormigas, la movilidad incrementa los flujos de información y la estructura física del entorno se convierte en un componente fundamental de su capacidad para procesar información (ibíd.).

A pesar de la sofisticación y de la complejidad en el procesamiento de información que despliegan las hormigas, los investigadores en campos como las ciencias de la complejidad (Mitchell, 2009), la inteligencia colectiva (Bonabeau et al., 1999) o la inteligencia computacional (Dorigo & Stützle, 2004) suelen representar y modelar a las hormigas como *autómatas reflejos* (agentes simples), cuyo comportamiento es predefinido e inflexible. Entomólogos de la talla de E. O. Wilson, incluso, han considerado a las hormigas como componentes genéticamente programados para cumplir su tarea (Gordon, 2010). Esta hipótesis de trabajo, útil en algunos casos, no siempre hace justicia a las hormigas. Como Gordon (2010) apunta, el comportamiento individual no se reduce simplemente a un conjunto de respuestas fijas a señales específicas. Por el contrario, se ha mostrado que dicho comportamiento es altamente flexible e involucra aprendizaje (Dornhaus & Franks, 2008). Se sabe, por ejemplo, que las hormigas pueden modificar su esquema de comportamiento de acuerdo con el patrón de interacción que perciben en su entorno (Gordon, 2010). Tal flexibilidad requiere habilidades cognitivas elaboradas. La cognición se define como la habilidad para adquirir información del entorno (mediante los sentidos), retenerla, procesarla y tomar decisiones con base en ella (Shettleworth, 2001). En este sentido, la cognición es un fenómeno computacional.

En este artículo se introducen dos modelos de procesamiento de información en colonias de hormigas y se demuestra que, en ambos casos, la teoría de la computación algorítmica, representada por la Máquina de Turing (MT), es insuficiente para capturar la expresividad (o el poder) computacional de las hormigas. En el primer caso, se analiza el sistema de navegación que emplean a nivel individual las hormigas del desierto. Para ello se utiliza un modelo de computación interactiva secuencial conocido como MT Persistente. En el segundo caso, haciendo uso de una simulación basada en agentes, se explora la expresividad computacional que exhibe la colonia cuando busca y recolecta alimento. Los resul-



tados presentados tienen implicaciones profundas para la comprensión de lo que significa computar y para el estudio del procesamiento de información en sistemas vivos<sup>1</sup>.

## Computación individual y colectiva en las hormigas

En el nivel individual, las hormigas despliegan un amplio repertorio de capacidades cognitivas y computacionales. Cada hormiga es capaz de percibir una gran cantidad de entradas sensoriales, modular su comportamiento de acuerdo con múltiples estímulos y tomar decisiones con base en grandes cantidades de información. Se conoce, por ejemplo, que las hormigas pueden distinguir entre cientos de químicos distintos (Gordon, 2016a). Con su diminuto cerebro, que pesa alrededor de 0.1 miligramos (Ronacher, 2008), las hormigas aprenden, planean para el futuro, enseñan, toman decisiones sofisticadas y emplean herramientas (Dornhaus & Franks, 2008). El uso de herramientas, particularmente, se ha detectado en el transporte de líquidos y en la construcción de nidos. La figura 1 (izquierda) muestra a una hormiga tejedora australiana adulta (*Oecophylla*) sosteniendo una larva entre sus mandíbulas y golpeándola suavemente con sus antenas como indicación para que comience a secretar seda de sus glándulas salivares (National Geographic, 2011). La seda es empleada para unir las hojas que formarán parte del nido (derecha).



Figura 1. Uso de herramientas en hormigas tejedoras y la arquitectura de su nido.  
Fuente: National Geographic (2011)

Cada una de estas habilidades involucra diversos mecanismos de procesamiento de información que operan en las escalas molecular, celular, cerebral y organizacional. No obstante, la complejidad individual no suele explicar los patrones emergentes que exhibe la colonia (Bonabeau, Theraulaz, Deneubourg, Aron & Camazine, 1997). Un caso bastante estudiado es la formación de senderos para la recolección de alimento (Camazine, Deneubourg, Franks, Sneyd, Theraulaz & Bonabeau, 2001; Bonabeau et al., 1999).

Durante el proceso de búsqueda y recolección de alimento, el comportamiento funcional de las hormigas se puede considerar "simple" (Franks, 1989). El proceso opera más o menos como se indica a continuación (Wilensky & Rand, 2015). Las hormigas forrajeras abandonan el nido, caminando de forma aleatoria, en busca de alimento. Cuando una de ellas lo encuentra, toma un poco y regresa a depositarlo en el nido. Mientras retorna, la hormiga deposita una sustancia química, denominada feromona, en el camino. El rastro de feromonas se difunde en el entorno cercano con un efecto atractivo sobre las demás hormigas. Cada vez que otra hormiga que deambule sin alimento detecte el rastro, existe una mayor probabilidad de que module su comportamiento y decida seguirlo. Al hacerlo, depositará más feromonas sobre el rastro existente y este será reforzado, atrayendo más y más hormigas al nuevo sendero.

El mecanismo de "reclutamiento" de hormigas mediante feromonas genera un bucle de retroalimentación positiva. Entre más hormigas participen en la recolección, más feromonas serán depositadas y más atractivo será el sendero. De esta manera, el número de hormigas en el sendero se incrementa exponencialmente en el tiempo (Moussaid, Garnier, Theraulaz & Helbing, 2009). Sin embargo, el proceso es contrabalanceado por un bucle de retroalimentación negativa que se desencadena cuando las feromonas se evaporan, cuando el número total de hormigas disponibles es alcanzado o cuando el alimento de la fuente ha sido recolectado por completo. La figura 2 muestra la dinámica de reclutamiento para hormigas de la especie *Linepithema humile*. En ella se ilustra la emergencia del rastro de feromonas entre el nido y la fuente de alimento. Mediante este proceso, la colonia decide colectivamente qué fuente de alimento explotar y conforma un sendero para hacerlo. La información necesaria para realizar la recolección es difundida a través del entorno y no puede ser contenida o generada por una sola hormiga. Las feromonas constituyen, en la escala global, la *memoria de la colonia*.

En general, la colonia produce, por un lado, nueva información (información cogenerada) que las hormigas

<sup>1</sup> Al respecto, véase Gómez-Cruz y Niño (2020).

asumen individualmente y, por el otro, nuevos mecanismos para procesar colectivamente dicha información. La integración de la información parcial que las hormigas adquieren, procesan y comunican (en la microescala), y los mecanismos de procesamiento de información que emergen (en la macroescala), le confieren a la colonia capacidades computacionales que no están presentes en los individuos (Mitchell, 2009). Tales capacidades le permiten a la colonia, como un todo, interactuar eficientemente con el entorno y resolver problemas que individualmente serían intratables o, en el peor de los casos, indecibles. Algunos ejemplos son la búsqueda de la ruta más corta entre el nido y la fuente de alimento; la selección de la fuente de alimento más cercana entre dos o más opciones igualmente atractivas; la elección de la fuente más atractiva (por ejemplo, más abundante y nutritiva) entre dos o más alternativas; o la explotación (sub)óptima de varias fuentes de alimento disponibles (Camazine et al., 2001).

Algunas aproximaciones al procesamiento de información en colonias de hormigas se han reportado en la literatura. En el contexto de la optimización por colonias de hormigas, la capacidad de procesamiento de información de la colonia se ha sobresimplificado y reducido a su aplicación práctica en problemas de optimización y búsqueda. El enfoque en este caso ha sido ingenieril, no científico. La manera como se analizan los modelos resultantes es en términos de su complejidad computacional, es decir, de acuerdo con la cantidad de recursos computacionales (de tiempo y memoria) requeridos para resolver problemas matemáticos o ingenieriles -por ejemplo, de optimización combinatoria- que son intratables por métodos exactos (Dorigo & Stützle, 2004). El problema de la expresividad computacional no es considerado.

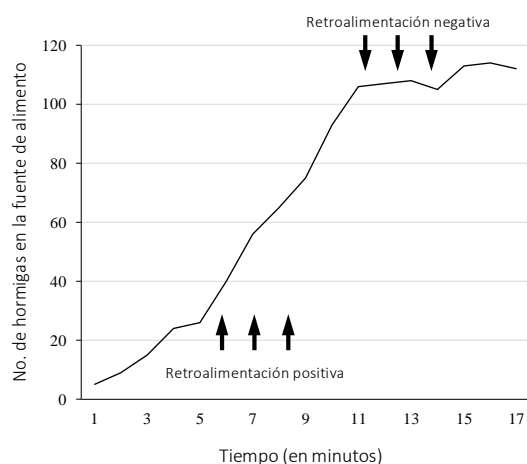


Figura 2. Dinámica de reclutamiento en hormigas de la especie *Linepithema humile*  
Fuente: Adaptada de Moussaid et al. (2009)

Otros trabajos ofrecen aproximaciones que involucran

técnicas computacionales (como la simulación) o el uso de un lenguaje computacional para comprender o explicar procesos específicos, como la formación de senderos o la emergencia de carriles (Moussaid et al., 2009). Sin embargo, en estos casos tampoco se ha estudiado de una manera explícita el problema de la expresividad computacional.

Más allá de estos casos, estudiar el hormiguero (o cualquier otro sistema vivo) como una red de procesamiento de información distribuida que opera en distintas escalas espaciotemporales sigue siendo un reto (Solé et al., 2019; Mitchell, 2012). El hormiguero comprende múltiples mecanismos que funcionan de manera simultánea, dinámica, interactiva y coordinada para que la vida misma de la colonia sea posible. Como se infiere de lo anterior, la colonia no computa ninguna función matemática específica ni se espera que su procesamiento se detenga. En general, sugiere Dodig-Crnkovic (2011), una red de procesamiento de información que funciona en un entorno dinámico no puede ser serializada ni modelada, de ninguna forma interesante o útil, con una MT.

Más aún, los modelos de computación disponibles no pueden, de momento, capturar la complejidad global de la colonia, involucrando sus múltiples escalas de emergencia y la coevolución de la miríada de mecanismos de computación presentes. Nuevos modelos de computación siguen siendo necesarios. Sin embargo, como se verá en la siguiente sección, el paradigma de la computación interactiva, aunque incipiente, permite aportar evidencia específica acerca de la expresividad computacional de las hormigas y las colonias que conforman.

## El problema de la expresividad computacional en los sistemas vivos

La máquina de Turing (MT) representa el modelo estándar de computación (Siegelmann, 2013; Cleland, 2006). Una computación en una MT se lleva a cabo a la manera de una caja negra. La computación consiste en la transformación de una entrada finita (por ejemplo, una cadena *-string*) en una salida finita, haciendo uso de una cantidad finita de tiempo. La entrada debe ser determinada antes de iniciar la computación y la salida solo estará disponible una vez que la computación haya culminado. La transformación está definida por una función matemática recursiva y se expresa mediante un algoritmo. La MT es, por lo tanto, un modelo de *computación algorítmica secuencial* (Eberbach, Goldin & Wegner, 2004). Durante décadas, muchos autores han sostenido que la MT es capaz de computar cualquier cosa computable. A este hecho se le conoce como Tesis fuerte de Church-Turing.

En el plano de la biología, la MT ha sido empleada como un modelo de computación para los sistemas vivos y como una analogía para aproximar la comprensión de la vida y sus procesos. Brenner (2012), por ejemplo, opina que las células y los organismos son MT "especiales". Para Forbes (2004), la lógica de los sistemas biológicos está acotada por las capacidades de la MT. Solé y Macia (2011), por su parte, plantean la posibilidad de modelar los ribosomas como nanomáquinas de Turing capaces de (i) leer una cinta definida por el ARN mensajero, (ii) crear una cadena de aminoácidos de salida e (iii) iniciar y terminar el proceso mediante la detección de secuencias específicas. Asimismo, distintas aproximaciones a los procesos cognitivos suponen que el pensamiento humano es equiparable a un proceso algorítmico de manipulación de símbolos, y que el cerebro es una MT natural (Barrett, 2011; Syropoulos, 2008; Newell & Simon, 1976).

Sin embargo, al contrastar los rasgos de la MT con los de los sistemas vivos, es difícil encontrar algún aspecto relevante en común (Gómez-Cruz & Maldonado, 2011). La MT es un dispositivo de procesamiento secuencial, determinístico, cerrado (durante la computación no entra ni sale información) y terminante (debe detenerse para que la computación sea exitosa). Para los sistemas vivos, en contraste, el procesamiento de información es concurrente, no determinístico, abierto, interactivo y autoorganizado. Mientras que una MT debe finalizar el procesamiento para poder decir que hubo una computación, el éxito para los procesos computacionales biológicos no es su terminación, sino la capacidad de respuesta al mundo exterior, así como la velocidad, la flexibilidad, la robustez y la adaptabilidad con la que se genera esa respuesta (Dodig-Crnkovic, 2011a). En un sistema vivo dejar de computar equivale a la muerte del sistema. Puesto en términos positivos, vivir es procesar información. Antes que comportarse como MT, los sistemas vivos se asemejan a sistemas abiertos e interactivos.

La computación interactiva (CI) es un nuevo paradigma de computación que captura los aspectos fundamentales de aquellas computaciones en las que, a diferencia de las que soporta la MT, existe comunicación (o interacción) con el mundo exterior durante el proceso de cómputo (Dodig-Crnkovic, 2010; Wegner, 1997). Fue introducida por Wegner (1997) y sus fundamentos teóricos fueron esbozados por el mismo autor en 1998. En la visión interactiva, la computación es vista como un proceso permanente (*ongoing*) de interacción con el entorno, antes que como la transformación, basada en funciones, de una entrada en una salida. La CI permite, en consecuencia, expresar sistemas abiertos, comportamientos autónomos dependientes de la historia y dinámicas autoorganizadas y emergentes. Tales aspectos

no pueden ser capturados por la lógica de primer orden que caracteriza a la computación algorítmica. De esta manera, la CI es fundamentalmente incompleta (da Costa & Doria, 2013). Nuevos formalismos lógicos son necesarios. Una alternativa sensata son las lógicas paraconsistentes. Es interesante notar que la incompletitud de los sistemas interactivos contribuye a su expresividad computacional, pero limita la posibilidad de formalizarlos (Goldin & Wegner, 2008).

Goldin, Smolka, Attie y Sonderegger (2004) introdujeron las *máquinas de Turing persistentes* (MTP) como una manera de capturar los rasgos sobresalientes de la CI considerando el mínimo número de modificaciones a una MT estándar. Las MTP fueron la primera prueba formal de que la interacción es más expresiva que los algoritmos. En esencia, las MTP logran capturar la noción intuitiva de *computación interactiva secuencial* (Ebebach, Goldin & Wegner, 2004). Una MTP no solamente extiende la sintaxis de la MT (como muchas de las variantes clásicas que resultaron ser Turing-equivalentes), sino que además extiende de manera simple, pero profunda, su semántica. La forma de hacerlo es incorporando flujos dinámicos (*dynamic streams*) y persistencia.

Una MTP es un modelo no determinístico compuesto por tres cintas semiinfinitas: una de entrada, una de lectura/escritura, denominada cinta de trabajo, y una de salida. La MTP puede ser entendida como un agente que interactúa con su entorno durante la computación a medida que procesa un flujo (*stream*) de entradas (*tokens* o *strings*) y genera un flujo de salidas. El flujo de entradas es generado dinámicamente por el entorno. El flujo de salidas, a medida que es procesado por la MTP, es emitido al entorno. Cada vez que la MTP recibe un *token* de entrada lo procesa y produce un *token* de salida. De este modo, salidas tempranas pueden afectar la estructura de entradas futuras. Este proceso se realiza sin cesar. El comportamiento de tales sistemas no es reproducible ni expresable mediante funciones recursivas.

La interacción secuencial es más expresiva que la MT. No obstante, la interacción secuencial no captura de forma apropiada la noción de emergencia, la cual sucede, por definición, en sistemas compuestos por múltiples componentes que interactúan de manera no lineal entre sí y con el entorno (Gómez-Cruz, 2018). De acuerdo con Goldin et al. (2004), la computación interactiva secuencial no admite comportamientos no serializables, como la coordinación de entradas provenientes de múltiples fuentes concurrentes. Estos autores conjeturan que un modelo de CI que considere MTP concurrentes podría ser más expresivo a una MTP secuencial. Similarmen- te, Eberbach et al. (2004) sostienen que cuando

un sistema interactivo está conformado por múltiples componentes autónomos, asíncronos y concurrentes, el sistema no puede ser simulado mediante la serialización de los comportamientos de sus componentes. Los sistemas multicomponente, específicamente los sistemas complejos basados en agentes (Grimm et al., 2005), exhiben patrones de comportamiento más ricos que aquellos que soporta un agente interactivo secuencial.

La simulación basada en agentes (Gómez-Cruz, 2018) y el modelo Actor de Carl Hewitt (2013) son modelos de computación distribuida e interactiva que modelan la emergencia en sistemas complejos. A pesar de ello, ninguno de los dos enfatiza el problema de la expresividad computacional. No existe un modelo análogo a la MTP que capture la expresividad de los sistemas interactivos distribuidos. A pesar de ello, la evidencia empírica que soporta la idea de una mayor expresividad sobre los sistemas de interacción secuencial es amplia. Eberbach et al. (2004) lo plantean en los siguientes términos:

*La interacción distribuida es más expresiva que la interacción secuencial, de la misma manera en que la interacción secuencial es más expresiva que la computación algorítmica (énfasis original) (pág. 175).*

La CI expande la noción de problema computacional e incluye dinámicas no terminantes, persistencia, dependencia de la historia, procesos no funcionales, mecanismos no algorítmicos, sistemas distribuidos y patrones emergentes. Todos estos son aspectos relevantes para los sistemas vivos. En la CI, la capacidad de un sistema para resolver problemas es sinónimo de expresividad computacional (Eberbach et al., 2004). La visión interactiva de la computación ya no se reduce a los conjuntos de funciones matemáticas que un modelo puede computar. Cuando el marco de relevancia es la biología, entonces, otros criterios de expresividad deben ser considerados. La computación natural (Kari & Rozenberg, 2008) y la computación biológica (Gómez-Cruz & Niño, 2020; Mitchell, 2012) requieren de modelos de computación que admitan nociones ortogonales de expresividad computacional. MacLennan (2004) denomina a tales modelos *computación no-Turing*.

Para un sistema vivo, la computación establece el límite entre la vida y la muerte. Computar "bien" significa vivir y la posibilidad participar en el proceso de la evolución. Computar "mal", por su parte, pone en riesgo su continuidad y lo ubica al borde del peligro y la extinción (Maldonado & Gómez-Cruz, 2015). Los criterios de expresividad deben dar cuenta de este hecho. MacLennan (2004) propone los siguientes criterios:

- Respuesta en tiempo real.

- Velocidad de respuesta.
- Generalidad de la respuesta.
- Flexibilidad en la respuesta a la novedad.
- Adaptabilidad.
- Tolerancia al ruido, el error, las fallas y los daños.

La hipótesis que se sugiere en este punto es que la complejidad de un sistema (vivo) es directamente proporcional a la sofisticación (expresividad computacional) del procesamiento de información que es capaz de llevar a cabo. En las siguientes secciones demostraremos que el procesamiento de información que realizan las hormigas, tanto individual como colectivamente, no se pueden reducir al funcionamiento de una MT.

## El sistema de navegación de las hormigas

Las hormigas y otros insectos sociales se caracterizan por ser forrajeros centrales. Esto significa que, de manera rutinaria, deben regresar al nido tras deambular por el entorno en busca de alimentos u otros recursos (Hartmann & Wehner, 1996). En muchas especies, cuando una fuente de alimento ha sido descubierta por una hormiga o un grupo pequeño de ellas, la colonia forma senderos temporales que favorecen una explotación eficiente de los recursos. El reto individual consiste en saber cómo regresar al nido tras haber encontrado por primera vez el alimento, luego de recorrer largas distancias.

Se han descrito tres estrategias empleadas en la naturaleza para resolver el problema de retornar al nido tras el forrajeo (Ronacher, 2008). Los gasterópodos (como los caracoles), por ejemplo, son capaces aplicar marcas durante el forrajeo que luego siguen de forma inversa para retornar al punto de origen (figura 3, izquierda). Varias especies de vertebrados, por otro lado, utilizan mapas cognitivos a través de los cuales logran establecer relaciones espaciales entre las estructuras que encuentran en el entorno (figura 3, derecha). Las hormigas, por su parte, emplean de manera fundamental un mecanismo denominado *integración de rutas (path integration)* (figura 3, centro). Este mecanismo consiste en la estimación, por parte de la hormiga, de las distancias recorridas y las variaciones en la orientación del desplazamiento. La información calculada es integrada en un vector (dirección y distancia) de regreso. Dicho vector será actualizado constantemente en la memoria de la hormiga y estará disponible en todo momento durante el forrajeo. De esta manera, la hormiga logra retornar al nido prácticamente en línea recta.

La integración de rutas tiene ventajas selectivas para las hormigas frente a las otras estrategias descritas. Aunque el seguimiento de ruta no resulta del todo im-

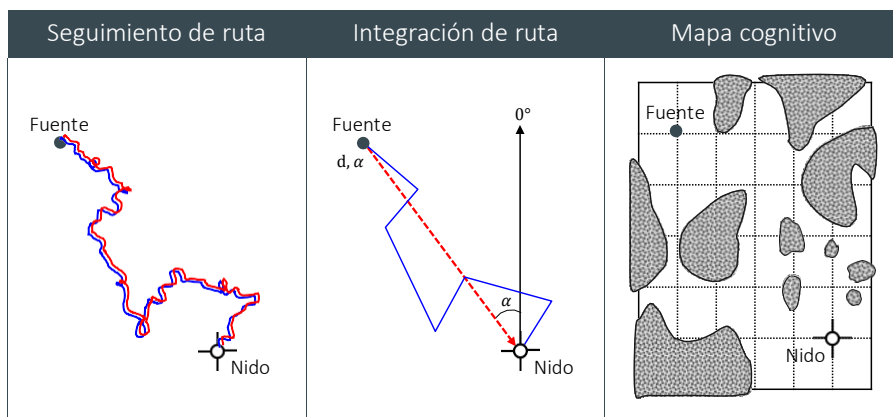


Figura 3. Tres estrategias de orientación empleadas por forrajeros centrales  
Fuente: Adaptado de Ronacher (2008)

plausible, ya que las hormigas podrían dejar rastros de feromonas para retornar tras el forrajeo, esta estrategia tiene dos desventajas manifiestas. Primero, que el viento o las temperaturas elevadas podrían alterar el rastro depositado, dejando a la hormiga con vacíos de información y seguramente extraviada. Segundo, que retornar por la misma ruta que se usó para la búsqueda incrementa considerablemente la distancia total recorrida y, por tanto, también el consumo energético por parte de la hormiga. En el caso de las hormigas del desierto (*Cataglyphis fortis*), una situación semejante aumentaría el riesgo de morir por agotamiento o desecadas por el sol. Por otro lado, el uso de mapas mentales requeriría almacenar grandes volúmenes de información sobre las relaciones espaciales de los objetos que se extienden por decenas, incluso cientos, de metros recorridos. Una hormiga, con su cerebro diminuto, tal vez no estaría en condiciones de lograr una proeza semejante, sobre todo si se considera que el cerebro es uno de los órganos que demandan mayor consumo energético. Adicionalmente, en ambientes desérticos, es infrecuente la presencia de marcas en el entorno. Ronacher (2008) plantea que la complejidad de los mecanismos neuronales que componen el sistema de navegación de las hormigas, probablemente se encuentre a medio camino entre el seguimiento de rutas y la elaboración de mapas mentales. Se ha demostrado que la integración de rutas, junto con otros mecanismos asociados, constituyen el sistema de navegación de las hormigas del desierto (Andel & Wehner, 2004; Müller & Wehner, 1988).

Diversos mecanismos neurofisiológicos están involucrados en el sistema de navegación que emplean las hormigas (Wehner, 2003): (i) Una brújula, basada en la polarización de la luz y en gradientes espectrales, que permite la estimación de los ángulos de rotación. (ii) Un odómetro para la estimación de las distancias recorridas (Ronacher, 2008). Este mecanismo se soporta en el flujo óptico y en las señales propioceptivas.

vas que autogenera la hormiga. Su lógica opera, en líneas generales, como un "contador" de pasos (Wolf, 2011). (iii) Un integrador de rutas, que calcula el vector de regreso con base en los ángulos y las distancias estimadas. (iv) Una memoria que le permite a la hormiga almacenar el vector actual de regreso e información sobre diversas marcas encontradas en el entorno (cuando están disponibles). El uso de marcas puede ser determinante, puesto que el integrador de rutas es propenso a la acumulación de errores. (v) Un

generador de búsqueda que es usado cuando la hormiga no encuentra el nido tras emplear los mecanismos previos. (vi) Un módulo global a través del cual la hormiga orquesta de forma flexible los demás mecanismos que componen el sistema de navegación (figura 4).

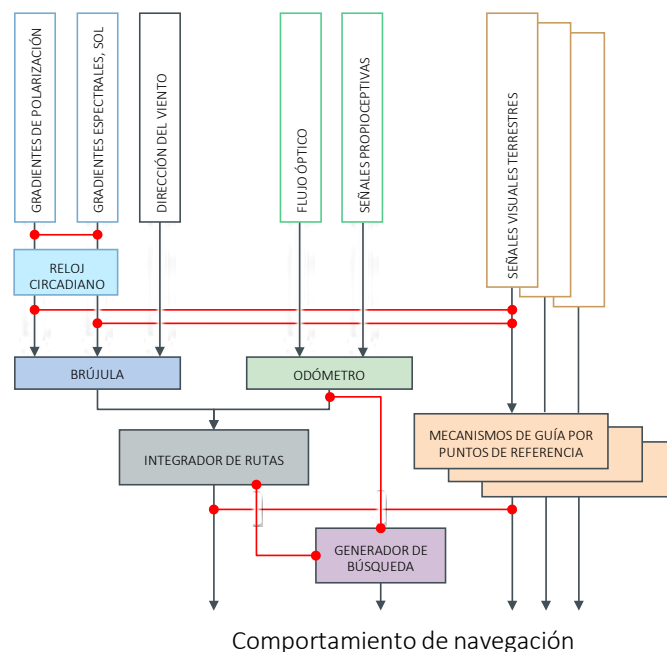


Figura 4. Sistema de navegación de las hormigas del desierto  
Fuente: Adaptado de Wehner (2009)

La navegación en las hormigas es un fenómeno cognitivo en el que complejas redes de procesamiento de información interactúan y se integran a través de múltiples escalas (Gordon, 2016; Almér, Dodig-Crnkovic & von Haugwitz, 2015). Tales redes han evolucionado, mediante selección natural, con el fin de satisfacer las condiciones ecológicas de las diversas especies. Para una hormiga, integrar rutas o hacer uso de puntos de referencia que la orienten en su regreso al nido requiere, entre otras cosas, habilidades de percepción, almacenamiento, recuperación, estimación, transformación y síntesis de información. Comprender los mecanismos

de procesamiento de información que emplean las hormigas para resolver sus necesidades de navegación es, de hecho, un problema computacional de interés científico, particularmente desde el punto de vista de la neurociencia y la ciencia cognitiva (Wehner, 2003).

### Integración de rutas en las hormigas del desierto

La integración de rutas es, entonces, el principal mecanismo de navegación que emplean las hormigas del desierto de la especie *Cataglyphis fortis* (figura 5) (Ronacher, 2008). La razón radica en que, en ambientes desérticos, como los salares del norte de África, es infrecuente la existencia de puntos de referencia que las hormigas puedan memorizar y seguir (Andel & Wehner, 2004). Puesto que en el desierto las fuentes de alimento son escasas, las excursiones de forrajeo se pueden extender por cientos de metros. Para no deshidratarse, las hormigas deben desplazarse tan rápido como les resulte posible y retornar al nido por la vía más corta disponible. Las hormigas del desierto se desplazan a la sorprendente velocidad promedio de 50 cm/seg (Wehner & Whener, 1990).



Figura 5. Hormiga del desierto, *Cataglyphis fortis* (derecha) y visión frontal de su cerebro (izquierda)  
Fuente: tomado de Wittlinger, Wolf y Whener (2007) y Stieb (2010), respectivamente

El retorno al nido, que no es menos sorprendente, se logra empleando la integración de rutas. La figura 6 muestra el mapeo experimental de la trayectoria saliente de una hormiga del desierto cuando busca el alimento (línea roja). Este recorrido cubre 354,5 metros. La trayectoria entrante (línea verde), por su parte,

mide solo 113,2 metros (Müller & Wehner, 1988).

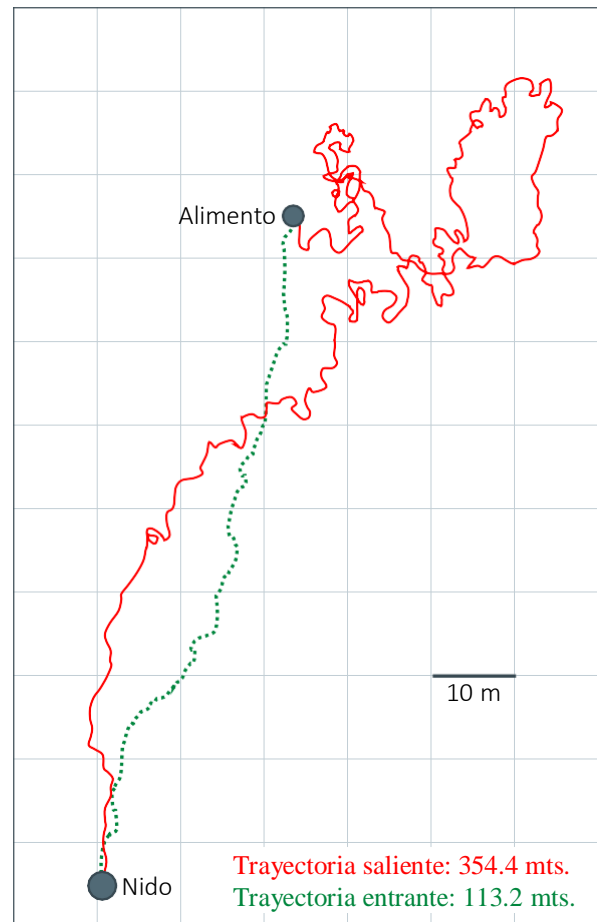


Figura 6. Viaje de forrajeo de una hormiga de la especie *Cataglyphis fortis*  
Fuente: Adaptado de Heinze, Narendra y Cheung (2018)

Como se indicó en la sección anterior, la integración de rutas significa que el animal es capaz de computar continuamente su posición actual con respecto a un punto de origen a medida que se desplaza. Esa información es empleada, posteriormente, para regresar a dicho punto de forma directa. Las hormigas del desierto continuamente memorizan los componentes lineales y angulares de su movimiento e integran esa información, de forma autogenerada, en un vector de regreso (Wehner & Srinivasan, 2003). Cada hormiga está equipada con una brújula que determina la orientación y un odómetro que mide las distancias (Hartmann & Wehner, 1995).

Para determinar la dirección, las hormigas usan los patrones de polarización del cielo y, en menor medida, la posición del sol, gradientes espectrales y la dirección del viento (Ronacher, 2008). Las aproximaciones experimentales soportan la idea de que las hormigas usan una plantilla interna simplificada que abarca los patrones de polarización que ocurren en distintos momentos del día y del año. Este mecanismo les permite a las hormigas determinar su dirección de desplazamiento con bastante precisión (Horváth & Varjú, 2004). Adicio-

nalmente, cuando una hormiga viaja a sitios comunes varias veces durante el día, las variaciones en los patrones de polarización de la luz son compensadas con información acerca del curso del sol, la cual es obtenida gracias a su reloj circadiano interno (Ronacher, 2008). Por otro lado, la manera como las hormigas miden las distancias recorridas ha permanecido elusiva por mucho tiempo. Experimentos recientes demuestran que la hipótesis más plausible es el uso de un mecanismo de conteo de pasos (Ronacher, 2008; Wittlinger, Whener & Wolf, 2006; Thiélin-Bescond & Beugnon, 2005). Ambos mecanismos son altamente complejos y los detalles neurofisiológicos continúan bajo estudio (Collete, 2019; Heinze et al., 2018).

Se han logrado avances importantes con respecto a la manera como la información posicional es integrada para producir el vector de regreso al nido. Algunas estrategias también se han descartado. Por ejemplo, se ha logrado demostrar que las hormigas del desierto no hacen uso de información cartográfica acerca de la ubicación del nido ni de la fuente de alimento (Andel & Wehner, 2004). La implicación de este hecho es que las hormigas no adquieren ni usan mapas cognitivos como mecanismo de navegación (Wehner, Boyer, Loertscher, Sommer & Menzi, 2006). También se sabe que no calculan la suma de los vectores recorridos. Por el contrario, los hallazgos experimentales sugieren que el mecanismo está soportado en una estrategia aproximada, sujeta a errores. Como se anotó anteriormente, las hormigas pueden emplear marcas en el entorno (cuando están disponibles) y en casos extremos recurrir a búsquedas sistemáticas.

Müller y Wehner (1988) propusieron un modelo que es consistente con la información experimental disponible. El modelo parte del supuesto de que las hormigas pueden medir de manera iterativa la media aritmética de todas las desviaciones efectuadas durante un pequeño trayecto, ponderando el resultado con la longitud total recorrida. Esta hipótesis es formulada como sigue:

$$\varphi_{n+1} = \frac{l_n \varphi_n + \varphi_n + \delta}{l_n + 1} = \frac{\varphi_n (l_n + 1) + \delta}{l_n + 1}$$

$$l_{n+1} = l_n + 1 - \frac{\delta}{90^\circ}$$

$\varphi_n$  denota la orientación media tras  $n$  pasos.  $l_n$  denota la distancia cubierta por la hormiga tras  $n$  pasos, y  $\delta$  la diferencia angular entre  $\varphi_n$  y la dirección de la hormiga en el paso  $n + 1$ .  $\varphi_{n+1}$  y  $l_{n+1}$  denotan la dirección y la distancia tras  $n + 1$  pasos, respectivamente. La inter-

pretación geométrica de las ecuaciones es presentada en la figura 7.

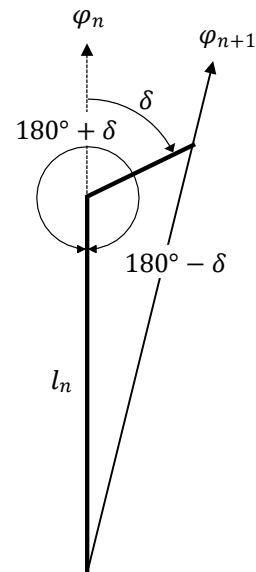


Figura 7. Interpretación gráfica del modelo de integración de rutas Fuente: Müller y Wehner, 1988

La integración sucede tras cada segmento recorrido y el resultado es actualizado en la memoria de la hormiga. El mecanismo es innato y no requiere, en principio, aprendizaje. Sin embargo, debido a factores de entorno, fisiológicos y cognitivos, la integración es propensa a errores. Es necesario, entonces, que la hormiga memorice (aprenda), por lo menos, algunos atributos de la entrada del nido y sus alrededores como complemento de la información que provee el integrador (Ronacher, 2008). En la siguiente sección, se propone un modelo del mecanismo de integración de rutas propuesto por Müller & Wehner (1988) con el fin de analizar su expresividad computacional. Las dinámicas de aprendizaje, por su parte, no son consideradas.

### Computación interactiva secuencial para volver a casa

En esta sección se presenta la simulación de una hormiga artificial que sigue el modelo de integración de rutas propuesto por Müller y Wehner (1988) (en adelante referido como *modelo Müller-Wehner*). Asimismo, se utiliza una Máquina de Turing Persistente (MTP) como modelo del sistema de integración de rutas (SIR) que emplea la hormiga *Cataglyphis fortis*. Aunque la MTP no captura todos los mecanismos presentados en la figura 4, el modelo logra capturar aspectos fundamentales sobre la naturaleza y la expresividad computacional del SIR.

El modelo Müller-Wehner fue simulado usando la plataforma de simulación basada en agentes NetLogo (Wilensky, 1999). Se dispuso un entorno caracteriza-

do por una cuadrícula de 160 x 160. En la parte inferior derecha se ubicó el nido (de color morado) y en la parte superior izquierda una presa (de color azul). Se programó una hormiga que parte del nido siguiendo una caminata semialeatoria similar a la que realizan las hormigas reales. Antes de cada paso, durante el proceso de forrajeo, se le permitió a la hormiga decidir su orientación de manera aleatoria dentro de un rango de (-35°, 35°). El desplazamiento que logra la hormiga dentro de cada lapso de la simulación (denominado *tick*) equivale a un metro de desplazamiento. Para cada *tick*, la hormiga calcula su desplazamiento y su ángulo de giro. Esos dos datos son suministrados a un procedimiento denominado *integrador\_de\_rutas*, que aplica el modelo Müller-Wehner. Al encontrar el alimento, el *integrador\_de\_rutas* informa a la hormiga el vector de regreso. La figura 8 muestra tres ejemplos del funcionamiento del modelo. En la imagen de la izquierda, la ruta de forrajeo (línea roja) equivale a 624 metros y la ruta de retorno al nido (línea verde) 189. En la imagen del centro, la ruta de forrajeo equivale a 337 metros, mientras que la ruta de retorno al nido solo 172. Finalmente, la imagen de la derecha muestra una ruta de forrajeo de 437 metros y de 164 de retorno. Los resultados son consistentes con las características del experimento de la figura 6.

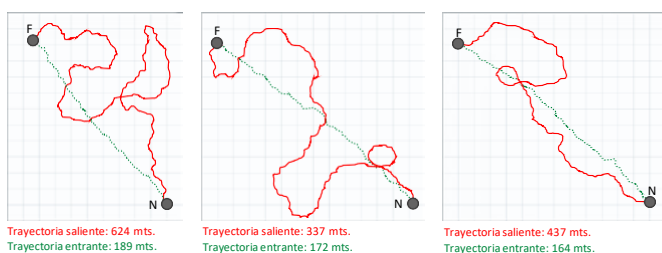


Figura 8. Simulación de la integración de rutas  
Fuente: simulaciones realizadas por el autor utilizando NetLogo

El hecho de que las hormigas no regresen de manera estrictamente recta (como se evidencia en la figura 6), supone la existencia de un *mecanismo de compensación* que, hasta donde sabemos, no ha sido estudiado. Con el único fin de hacer más realista la apariencia visual del modelo que se presenta en la figura 8, se implementó un mecanismo de "wigggle compensado". Dicho mecanismo opera toda vez que la hormiga se orienta hacia el nido para ejecutar su vector de regreso. La figura 9 muestra el diagrama de flujo de la hormiga artificial durante el proceso de búsqueda de alimento y retorno al nido.

Ahora bien, se sabe que el SIR opera sin referencia a guías externas y que nunca deja de funcionar (Wehner & Srinivasan, 2003). De acuerdo con esto y con la simulación realizada, el SIR puede ser entendido en sí mismo como un agente autónomo y dinámico, dotado

con una memoria rudimentaria y con la capacidad de interactuar con su entorno (la hormiga). Se sabe también que los subsistemas que miden la rotación y la traslación son independientes y trabajan en paralelo. Para efectos prácticos, se supone que tanto el ángulo de rotación, como la distancia recorrida, son presentados al SIR en la forma de un paquete único de información. Dicho paquete será denominado pA-D (paquete ángulo-distancia).

El SIR, entonces, percibe el pA-D y lo procesa con base en el modelo Müller-Wehner. Como resultado, se obtiene el vector de regreso al nido  $\vec{v}_i$ . Dicho vector es almacenado en la memoria del SIR. Si existe un vector previo almacenado  $\vec{v}_{i-1}$  es reemplazado por el nuevo vector. Este proceso es repetido de forma indefinida hasta que la hormiga encuentra el alimento. Cuando esto sucede, el SIR informa a la hormiga el contenido de su memoria y la hormiga emplea esa información para retornar al nido. Una vez que la hormiga arriba al nido, la memoria del integrador se reinicia en cero. Mientras la hormiga permanezca en el nido, la memoria no se actualizará y, sin embargo, el SIR permanecerá activo. El proceso global sucede cada vez que la hormiga sale a forrajear.

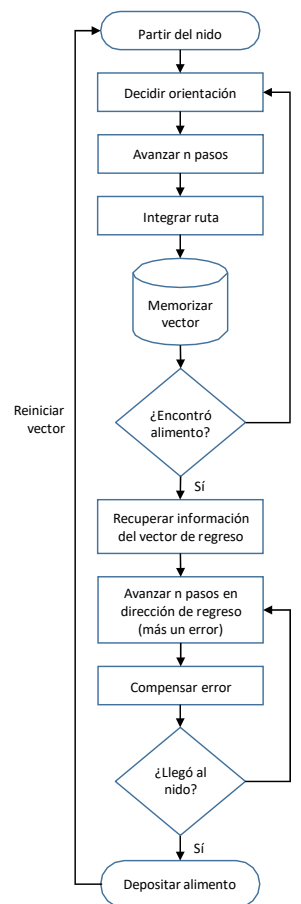


Figura 9. Diagrama de flujo de la hormiga artificial que implementa el modelo Müller-Wehner  
Fuente: elaboración propia



La información del vector de regreso almacenada en memoria ( $\vec{v}_{i-1}$ ) es mantenida (memorizada) de un macropaso de computación al siguiente y afectará el cómputo de los vectores subsecuentes. De esta manera, el SIR es un sistema persistente. Asimismo, los cálculos efectuados por el SIR dependen estrictamente de su interacción con el entorno. Puesto que siempre está activo, todo procesamiento de información dentro del SIR ocurre *durante la computación*. Por la misma razón, el SIR no es un sistema terminante, salvo que sufra un daño o que la hormiga perezca.

El esquema conceptual del SIR que se acaba de introducir es ahora reformulado en el lenguaje de las MTP. La cinta de trabajo es usada para almacenar el vector de regreso vigente y calcular las nuevas versiones de este. Los pasos computacionales son definidos por una función de mapeo Turing-computable de la forma:

(token de entrada, memoria actual)  $\rightarrow$  (token de salida, memoria nueva)

De acuerdo con esto, el SIR está definido por:

$$\begin{aligned} f_1(\text{calcular } \vec{v}_i, \vec{v}_{i-1}) &= (ok, \vec{v}_{i-1}); \\ f_1(\text{almacenar } \vec{v}_i, \vec{v}_{i-1}) &= (ok, \vec{v}_i); \\ f_1(\text{reportar}, v_i) &= (v_i, v_i); \\ f_1(\text{reiniciar}, v_i) &= (\text{hecho}, v_0). \end{aligned}$$

Una MTP recibe un flujo de entrada que es generado dinámicamente por el entorno. En este caso, es la hormiga quien genera el flujo de entrada para el SIR. El siguiente flujo de entrada resalta la forma como la hormiga interactúa con su entorno durante el forrajeo. De esta manera, permite ilustrar que el procesamiento de información que realiza el SIR es dependiente de la historia:

(calcular A, almacenar A, calcular B, almacenar B, ..., reportar, reiniciar, calcular A', almacenar A', calcular B', almacenar B', ..., reportar, reiniciar, ...)

La hormiga parte del nido (el cero relativo) y se desplaza una longitud  $l_1$  con ángulo  $\delta$  respecto al origen. Esa información (el pA-D) es obtenida por la hormiga y usada por el SIR para calcular el vector de regreso (*calcular A*). Una vez calculada, la información del vector de regreso es almacenada por el integrador de rutas (*almacenar A*). Luego, la hormiga se desplaza otro segmento de longitud  $l_2$  con un ángulo  $\delta'$ . Los nuevos datos percibidos, junto con la información almacenada en el integrador de rutas ( $A$ ), son usados para calcular un nuevo vector de regreso. Los puntos suspensivos indican que el proceso se repite indefinidamente hasta que el alimento es encontrado por la hormiga. Cuando esto sucede, el SIR informa a la hormiga el vector de regreso al nido

(*reportar*). El SIR reporta, en todos los casos, el último vector almacenado hasta ese momento, el cual contiene la distancia y el ángulo que la hormiga debe recorrer para llegar al nido. Ya en el nido, la hormiga reinicia en cero el SIR. El *stream* de salida correspondiente, de acuerdo con la función de mapeo, es de la forma:

(ok, ok, ok, ok, ..., T, hecho, ok, ok, ok, ok, ..., T', hecho, ...)

Nótese que ante el mismo *token* de entrada (*reportar*) presentado al SIR en momentos distintos, se generan dos vectores de salida distintos ( $T$  y  $T'$ ). Esto obedece a dos razones fundamentales que se desprenden de la semántica de las MTP. Por un lado, la ruta que sigue la hormiga depende estrictamente de las microdecisiones que son tomadas, en tiempo real, a medida que interactúa con su entorno. Por otra parte, como cada trayecto recorrido en una dirección específica contribuye a la integración del vector de regreso, el sistema se hace, en efecto, dependiente de la historia. Aunque la MTP cuenta con la misma sintaxis que la MT estándar, la modificación de la semántica (persistencia e interacción) le permite a la hormiga resolver el problema de la integración de rutas de manera no funcional (dicho en términos matemáticos<sup>2</sup>) y no algorítmica (puesto en términos computacionales). Este modelo deja claro que la hormiga no puede precomputar su vector de regreso, pues esto implicaría que, además, precomputara hasta el último detalle de su ruta de forrajeo.

## Computación interactiva distribuida para optimizar la recolección de alimento

La interacción con el entorno le permite a una hormiga recolectar información suficientemente precisa para regresar al nido. En realidad, los mecanismos involucrados en la integración de rutas operan en el nivel neurofisiológico de forma autoorganizada y emergente. Los detalles de su operación se desconocen aún. Por ejemplo, para capturar la polarización de la luz del cielo, las hormigas usan una pequeña parte de su sistema visual, la cual recibe información de una fracción muy pequeña de los fotorreceptores del ojo que son sensibles a la luz polarizada. La manera cómo esa información fluye en los distintos niveles sinápticos y es representada e interpretada por la hormiga sigue siendo objeto de estudio. Lo mismo sucede con las redes neuronales que "instancian" el integrador de rutas. El modelo presentado en la sección anterior no captura esos aspectos. No

2 Una función matemática establece una correspondencia entre una colección de valores de entrada posibles y una colección de valores de salida, tal que cada entrada es asignada a una única salida. El proceso de determinar el valor de salida que una función asigna a una entrada específica se llama computar la función.

obstante, logra capturar de forma sensata el fenómeno en una escala global. Gracias a ello, es posible mostrar que el SIR no opera de forma algorítmica ni se ajusta a la estructura de una función matemática. Pero ahora queda la pregunta ¿es más expresiva la interacción distribuida que la secuencial?

No existe, de momento, un modelo de CI u otro enfoque formal que permita responder a esta pregunta. Carecemos de modelos rigurosos que caractericen los problemas computacionales que puede resolver un cerebro líquido, como las hormigas, y los que no (Solé et al., 2019). En esta sección, sin embargo, se hace una aproximación intuitiva a la respuesta. Para ello se considera el problema de la recolección de alimentos en colonias de hormigas. Se utiliza una variación del modelo de simulación basada en agentes propuesto por Wilensky (1997). Puesto que el modelo no está calibrado empíricamente, su valor es heurístico. Se trata de una población de hormigas dispuesta en un entorno de 70 x 70 unidades. En el centro se dispone un nido (de color morado) y en la periferia tres fuentes de alimento (con diferentes tonos de azul), ubicadas a distintas distancias. La simulación opera de acuerdo con la descripción del proceso de formación de senderos realizada en la sección "Computación individual y colectiva en las hormigas".

Las hormigas son modeladas como agentes autónomos con la capacidad de forrajear en búsqueda de alimento, recolectar pequeñas porciones de este, retornar al nido mediante integración de rutas cuando el alimento es recolectado, depositar feromonas en el camino de regreso al nido y percibir feromonas del entorno. Se definen como parámetros de la simulación el número de hormigas (población) y las tasas de difusión y evaporación de las feromonas. La figura 10 muestra una captura de pantalla de la estructura y el funcionamiento del modelo. Las feromonas son representadas dentro del rango de colores que va de blanco (más intensa) a verde (menos intensa).

Se definen como criterios de expresividad computacional la eficiencia en la recolección del alimento (velocidad de respuesta), la robustez del proceso de recolección (tolerancia al ruido y a la aleatoriedad) y la generalidad de la respuesta. Estos criterios están conformes a la propuesta de MacLennan (2004). Del mismo modo, estos criterios se enmarcan en el argumento de Eberbach et al. (2004), según el cual la capacidad de un sistema interactivo para resolver problemas es directamente proporcional a su expresividad computacional.

Con estos elementos en mente se analizaron tres casos. En el caso **a**, se simula una población de 125 hormigas que no disponen de un sistema de integración de rutas (SIR) ni de mecanismos de interacción a través de feromonas. Cada hormiga busca alimento de manera aleatoria y del mismo modo busca el nido para depositar el alimento obtenido. En el caso **b**, una población igual de hormigas es liberada, pero esta vez cada una cuenta con un SIR. Los mecanismos de segregación y seguimiento de feromonas permanecen deshabilitados. Es decir, en este caso cada agente representa una MTP que interactúa con las fuentes de alimento, pero no con otros agentes. En el caso **c**, las hormigas que conforman la población cuentan con el SIR y con los mecanismos de segregación y seguimiento de feromonas activos. Los parámetros de tasa de difusión y de tasa de evaporación fueron calibrados de acuerdo con el modelo original de Wilensky para posibilitar la formación de senderos.

Las condiciones de entorno son exactamente las mismas para los tres casos. Esto significa que la disposición del nido y de las fuentes de alimento siempre es igual. Adicionalmente, se impusieron condiciones de frontera que impiden que las hormigas vayan más allá de la cuadrícula de 70 x 70 que delimita el entorno. En la figura 11 se analizan los resultados de las tres situaciones.

La dinámica de explotación en los casos **a** y **b** fue muy similar. En ambas situaciones las fuentes fueron explotadas de forma simultánea con diferencias que obedecen a la distancia de las distintas fuentes al nido. Sin embargo, los tiempos de explotación que emplearon las colonias en cada caso variaron considerablemente.

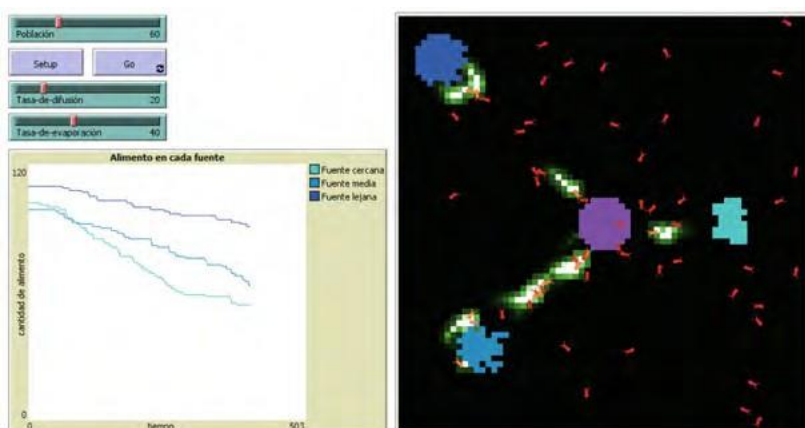


Figura 10. Captura de pantalla del modelo *Ants* tras 325 *ticks* de simulación  
Fuente: Elaboración propia empleando NetLogo

La explotación de la fuente más cercana tomó 1735 *ticks* de simulación para el caso **a** y 1102 para el caso **b**. La explotación de la fuente intermedia 1972 y 1071 *ticks*, respectivamente. La fuente más lejana fue explotada en 2769 y 1861 *ticks* para cada escenario. El caso **b**, en el que se implementa el SIR es, de lejos, más eficiente que el caso **a**. En el caso **c** los tiempos de explotación se redujeron de una manera importante. Al hormiguero del tercer escenario le tomó 221, 576 y 1076 *ticks*, respectivamente, explotar las respectivas fuentes. La tabla 1 resume los datos obtenidos. Los gráficos de la figura 11 son presentados de manera ilustrativa. Sin embargo, se eligieron porque no distan considerablemente del comportamiento promedio tras varias ejecuciones.

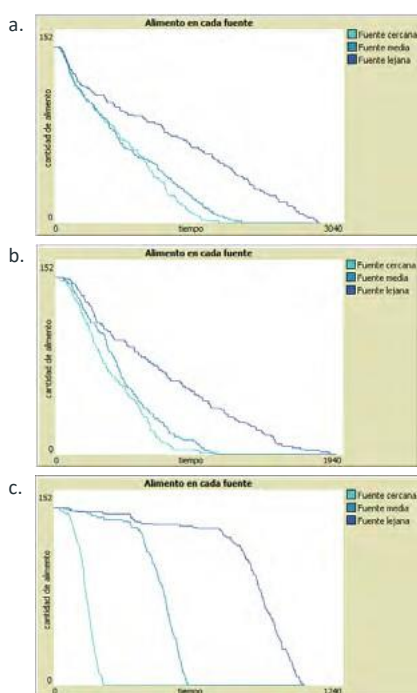


Figura 11. Dinámica de recolección de alimentos en una colonia de hormigas bajo distintos criterios de interacción. En **a** no se admite integración de rutas ni comunicación mediante feromonas. En **b** se admite integración de rutas, pero no comunicación mediante feromonas. En **c** tanto la integración de rutas, como la comunicación mediante feromonas son admitidas.

Fuente: Elaboración propia empleando NetLogo

Tabla 1. Tiempos de explotación (en *ticks*) de tres fuentes de alimento bajo distintos parámetros de interacción

	Tiempo de explotación de las fuentes de alimento		
	Más cercana	Distancia media	Más lejana
Caso a. (Interacción limitada)	1735	1972	2769
Caso b. (Interacción secuencial)	1102	1071	1861
Caso c. (Interacción distribuida)	221	576	1076

Fuente: Elaboración propia

Esta sencilla prueba muestra que la velocidad con la que se explotan las tres fuentes es, en general, más eficiente en el caso de la interacción secuencial que en el caso de interacción limitada. Análogamente, que la interacción distribuida es más eficiente que la secuencial. Hay dos hechos adicionales, altamente relevantes, que vale la pena mencionar. En el caso **c**, cuando la interacción distribuida fue incluida, el hormiguero concentró sus esfuerzos de recolección: una fuente a la vez. Adicionalmente, la priorizó: primero la fuente cercana, luego la que se encuentra a una distancia media y finalmente la más lejana (figura 12). Este comportamiento es emergente e imposible de lograr, incluso, con un sistema de computación interactiva secuencial paralelo, como el explorado en el caso **b**.

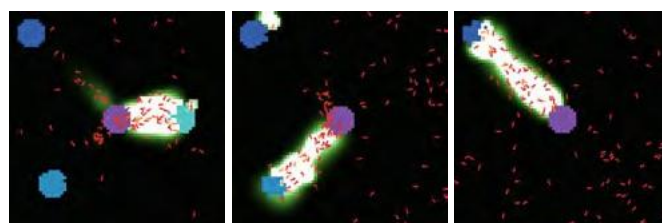


Figura 12. Formación emergente de senderos y recolección óptima de recursos en un hormiguero simulado

Fuente: Elaboración propia empleando NetLogo

Los resultados obtenidos muestran cómo un grupo de hormigas que se comunica indirectamente mediante feromonas puede construir senderos de forma autoorganizada, decidir colectivamente qué fuente de alimento recolectar y explotar de manera óptima los recursos en su entorno. En el mundo real, estas estrategias tienen, sin lugar a duda, ventajas evolutivas para el hormiguero frente a los escenarios evaluados en los casos **a** y **b**. La dinámica global exhibida por el hormiguero en el escenario **c** es lograda a través de un balance entre la exploración aleatoria que realiza cada hormiga y la explotación sistemática que sucede en la macroescala, cuando la colonia logra un refuerzo positivo de los rastros de feromonas.

En consecuencia, el procesamiento interactivo y distribuido de información es más eficiente en cuanto a la velocidad con la que se explotan los recursos globalmente, pero también con respecto a la estrategia de priorización de la explotación. Asimismo, la aleatoriedad y el ruido que esta puede generar en el proceso son aprovechadas como recursos computacionales para balancear la exploración del entorno y la explotación de las fuentes de alimento halladas. Esto hace al sistema altamente flexible y robusto. Si la configuración del entorno varía, el hormiguero se adapta a las nuevas condiciones y sigue respondiendo de manera eficiente. En conclusión, se puede argumentar que la interacción distribuida es más expresiva que la secuencial. No es

extraño, entonces, que sea esta la forma de procesamiento de información que predomina en los sistemas vivos.

La computación interactiva le abre paso a un paradigma de computación sin precedentes que promete acelerar la comprensión y la explicación de la vida no desde lo que es, sino desde lo que hace para vivir (que es computar). Por ahora, más esfuerzos de investigación son necesarios. La apreciación de Amos, Hodgson y Gibbons (2007) deja abierta la discusión:

El desarrollo de patrones funcionales extendidos espacialmente como resultado de la interacción local entre individuos y entre estos y su entorno inmediato es una forma de computación extremadamente común y útil en la naturaleza, pero aún es poco explorada, pobremente entendida y subexplotada en las ciencias de la computación (pág. 200)

## Conclusiones

En los sistemas vivos, la computación emerge de la interacción orquestada entre múltiples componentes descentralizados. Esta computación se caracteriza por ser robusta, autoorganizada, asíncrona, adaptativa, tolerante a fallos y capaz de evolucionar (Gómez-Cruz & Niño, 2020). Pensar la vida en términos computacionales implica, por lo tanto, pensar más allá del marco de relevancia de la computación algorítmica que captura la MT. La CI propone un nuevo marco de relevancia que provee un escenario apropiado para pensar y explorar la riqueza y la expresividad computacional de la vida. Este escenario forma parte de lo que se ha denominado hipercomputación biológica (Maldonado & Gómez-Cruz, 2015)

En este artículo se demostró que la solución al problema de la integración de rutas en las hormigas del desierto no se puede llevar a cabo en términos algorítmicos. Esto significa que una hormiga no puede precomputar su vector de regreso, sino que tiene que generarlo cada vez a medida que interactúa con el entorno. La lógica general de la integración de rutas fue capturada con una máquina de Turing persistente, un modelo que es más expresivo que la máquina de Turing estándar. El mecanismo de integración de rutas estudiado, que comparte algunas características computacionales esenciales con otros fenómenos biológicos, es un ejemplo de computación interactiva secuencial.

Adicionalmente, desde un punto de vista conceptual, se mostró que el procesamiento de información colectivo que realiza una colonia para obtener el alimento de una manera eficiente excede la expresividad computacional

de las hormigas consideradas individualmente. De esta manera, se aportó evidencia a la conjetura de que la computación interactiva distribuida es más expresiva que la computación interactiva secuencial. No es casual que toda la vida sobre la Tierra, desde los organismos unicelulares hasta los insectos sociales, se caracterice por ser interactiva y colectiva.

En rigor, la MT y todos los modelos de computación equivalentes representan solamente un caso particular dentro de los modelos de computación posibles. Si bien la vida respeta los límites físicos de la computación, también es cierto que ella establece un escenario abierto, mediado por la evolución, para la síntesis y la creatividad de los procesos computacionales naturales. La creatividad, la diversidad y la expresividad computacional de la vida no se pueden reducir, en absoluto, a la aplicación mecánica de un procedimiento algorítmico. La computación interactiva en los sistemas vivos, como ha sido introducida en este artículo, busca capturar la riqueza del procesamiento de información que lleva a cabo la vida, sin reducirla a un mecanismo recursivo formal.

## Agradecimientos

Le agradezco al Dr. Luis Fernando Niño Vásquez, director del Laboratorio de Sistemas Inteligentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, por las discusiones que sostuvimos acerca de los aspectos fundamentales de esta investigación y por sus observaciones sobre el manuscrito.

## Referencias

- Almér, A., Dodig-Crnkovic, G. & von Haugwitz, R. (2015). Collective cognition and distributed information processing from bacteria to humans. In: *AIBS Convention 2015* (code 112552). Canterbury: University of Kent.
- Amos, M., Hodgson, D. A. & Gibbons, A. (2007). Bacterial self-organisation and computation. *International Journal of Unconventional Computing*, 3(3), 199-210.
- Andel, D. & Wehner, R. (2004). Path integration in desert ants, *Cataglyphis*: how to make a homing ant run away from home. *Proceedings of the Royal Society B*, 271(1547), 1485-1489.
- Barrett, L. (2011). *Beyond the Brain: How Body and Environment Shape Animal and Human Minds*. Princeton: Princeton University Press.
- Bonabeau, E. (1998). Social insect colonies as complex adaptive systems. *Ecosystems*, 1(5), 437-443.
- Bonabeau, E., Dorigo, M. & Theraulaz, G. (1999). *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. New York: Oxford University Press.
- Bonabeau, E., Theraulaz, G., Deneubourg, J. L., Aron, S. & Camazine, S. (1997). Self-organization in social insects. *Trends in*

- Ecology & Evolution*, 12(5), 188-193.
- Brenner, S. (2012). Life's code script. *Nature*, 482(7386), 461.
- Camazine, S., Deneubourg, J. L., Franks, N. R., Sneyd, J., Theraulaz, G. & Bonabeau, E. (2001). *Self-Organization in Biological Systems*. Princeton: Princeton University Press.
- Cleland, C. E. (2006). The Church-Turing thesis. A last vestige of a failed mathematical program. In A. Olszewski, J. Woleński & R. Janusz (Eds.), *Church's Thesis After 70 Years* (pp. 119-146). Frankfurt: Ontos.
- Collete, T. (2019). Path integration: how details of the honeybee waggle dance and the foraging strategies of desert ants might help in understanding its mechanisms. *Journal of Experimental Biology*, 222(11), jeb205187.
- Da Costa, N. & Doria, F. A. (2013). Metamathematical limits to computation. In K. Nakamatsu & L. C. Jain (Eds.), *The Handbook on Reasoning-Based Intelligent Systems* (pp. 119-141). New Jersey: World Scientific.
- Dodig-Crnkovic, G. (2011). Dynamics of information as natural computation. *Information*, 2(3), 460-477.
- Dodig-Crnkovic, G. (2011a). Significance of models of computation, from Turing model to natural computation. *Minds and Machines*, 21(2), 301-322.
- Dodig-Crnkovic, G. (2010). Biological information and natural computation. In J. Vallverdú (Ed.), *Thinking Machines and the Philosophy of Computer Science: Concepts and Principles* (pp. 36-52). Hershey, PA: IGI Global.
- Dornhaus, A. & Franks, N. R. (2008). Individual and collective cognition in ants and other insects (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 11, 215-226.
- Dorigo, M. & Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Eberbach, E., Goldin, D. & Wegner, P. (2004). Turing's ideas and models of computation. In: C. Teuscher (Ed.), *Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker* (pp. 159-194). Berlin: Springer.
- Feinerman, O. & Korman, A. (2017). Individual versus collective cognition in social insects. *Journal of Experimental Biology*, 220(1), 73-82.
- Forbes, N. (2004). *Imitation of Life: How Biology Is Inspiring Computing*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Franks, N. R. (1989). Army ants: A collective intelligence. *American Scientist*, 77(2), 138-145.
- Goldin, D., Smolka, S. A., Attie, P. & Sonderegger, E. (2004). Turing machines, transition systems, and interaction. *Information & Computation Journal*, 194(2), 101-128.
- Goldin, D. & Wegner, P. (2008). The interactive nature of computing: Refuting the strong Church-Turing thesis. *Minds & Machines*, 18(1), 17-38.
- Gómez-Cruz, N. A. (2020). Computación biológica: el estudio de la naturaleza computacional de los sistemas vivos. En C. E. Maldonado (Ed.). *Biología Teórica, Explicaciones y Complejidad* (capítulo 7). Bogotá, Universidad del Bosque.
- Gómez-Cruz, N. A. (2018). Simulación basada en agentes: una metodología para el estudio de sistemas complejos. In M. L. Eschenhagen, G. Velez, Guerrero, G. & C. E. Maldonado (Eds.), *Construcción de problemas de investigación: diálogos entre el interior y el exterior* (páginas 230-268). Medellín: Universidad de Antioquia.
- Gómez-Cruz, N. A. (2013). *Vida Artificial: Ciencia e Ingeniería de Sistemas Complejos*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Gómez-Cruz, N. A. & Niño, L. F. (2020). Computación biológica: el estudio de la naturaleza computacional de los sistemas vivos. En C. E. Maldonado (Ed.). *Biología Teórica, Explicaciones y Complejidad* (capítulo 7). Bogotá, Universidad del Bosque.
- Gordon, D. (2016a). Collective wisdom of ants. *Scientific American*, 314(2), 44-47.
- Gordon, D. (2016b). The evolution of the algorithms for collective behavior. *Cell Systems*, 3(6), 514-520.
- Gordon, D. (2010). *Ant Encounters: Interaction Networks and Colony Behavior*. Princeton: Princeton University Press.
- Grimm, V., Revilla, E., Berger, U., Jeltsch, F., Mooij, W. M., Railsback, S. F. et al. (2005). Pattern-oriented modeling of agent-based complex systems: Lessons from ecology. *Science*, 310(5750), 987-991.
- Hartmann, G. & Wehner, R. (1995). The ant's path integration system: a neural architecture. *Biological Cybernetics*, 73(6), 483-497.
- Heinze, S., Narendra, A. & Cheung, A. (2018). Principles of insect path integration. *Current Biology*, 28(17), R1043-R1058.
- Hewitt, C. (2013). What is computation? Actor model vs. Turing's model. In H. Zenil (Ed.), *A Computable Universe. Understanding Computation and Exploring Nature as Computation* (pp. 159-186). Singapore: World Scientific.
- Hölldobler, B. & Wilson, E. O. (2014). *El Superorganismo. Belleza y Elegancia de las Asombrosas Sociedades de Insectos*. Buenos Aires: Katz Editores.
- Hölldobler, B. & Wilson, E. O. (1990). *The Ants*. Berlin: Springer.
- Horváth, G. & Varjú, D. (2004). *Polarized Light in Animal Vision: Polarization Patterns in Nature*. Berlin: Springer.
- Kari, L. & Rozenberg, G. (2008). The many facets of natural computing. *Communications of the ACM*, 51(10), 72-83.
- MacLennan, B. J. (2004). Natural computation and non-Turing models of computation. *Theoretical Computer Science*, 317(1-3), 115-145.
- Maldonado, C. E. & Gómez-Cruz, N. A. (2015). Biological hypercomputation: A new research problem in complexity theory. *Complexity*, 20(4), 8-18.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A Guided Tour*. Oxford: Oxford University Press.
- Mitchell, M. (2012). Biological computation. *The Computer Journal*, 55(7), 852-855.
- Moussaid, M., Garnier, S., Theraulaz, G. & Helbing, D. (2009). Collective information processing and pattern formation in swarms, flocks y crowds. *Topics in Cognitive Science*, 1(3), 469-497.
- Müller, M. & Wehner, R. (1988). Path integration in desert ants, *Cataglyphis fortis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 85(14), 5287-5290.
- National Geographic (2011). Hermandad de tejedoras. Retrieved

- from [http://www.nationalgeographic.com/es/mundo-ng/grandes-reportajes/hermandad-de-tejedoras\\_4190/1](http://www.nationalgeographic.com/es/mundo-ng/grandes-reportajes/hermandad-de-tejedoras_4190/1)
- Newell, A. & Simon, H. (1976). Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. *Communications of the ACM*, 19(3), 113-126.
- Ronacher, B. (2008). Path integration as the basic navigation mechanism of the desert ant *Cataglyphis fortis*. *Myrmecological News*, 11, 53-62.
- Shettleworth, S. J. (2001). Animal cognition and animal behavior. *Animal Behavior*, 61(2), 277-286.
- Sieglmann, H. T. (2013). Turing on super-Turing and adaptivity. *Progress in Biophysics & Molecular Biology*, 113(1), 117-126.
- Solé, R., Moses, M. & Forrest, S. (2019). Liquid brains, solid brains. *Philosophical Transactions B*, 374, 20190040.
- Solé, R. & Macia, J. (2011). Synthetic biocomputation: the possible and the actual. In T. Lenaerts, M. Giacobini, H. Bersini, P. Bourguine, M. Dorigo & R. Doursat (Eds), *Advances in Artificial Life, ECAL, 2011* (without numeration). Cambridge, MA: MIT Press.
- Stieb, S. (2010). Frontal overview of the brain of the desert ant *Cataglyphis fortis*. Retrieved from [http://www.graduateschools.uni-wuerzburg.de/life\\_sciences/gsls\\_newsletter/](http://www.graduateschools.uni-wuerzburg.de/life_sciences/gsls_newsletter/)
- Syropoulos, A. (2008). *Hypercomputation: Computing Beyond the Church-Turing Barrier*. New York: Springer.
- Thiélin-Bescond, M. & Beugnon, G. (2005). Vision-independent odometry in the ant *Cataglyphis cursor*. *Naturwissenschaften*, 92(4), 193-197.
- Wegner, P. (1997). Why interaction is more powerful than algorithms. *Communication of the ACM*, 40 (5), 80-91.
- Wegner, P. (1998). Interactive foundations of computing. *Theoretical Computer Science*, 192 (2), 315-351.
- Wehner, R. (2003). Desert ant navigation: how miniature brain solve complex systems. *Journal of Comparative Physiology A*, 189(8), 579-588.
- Wehner, R., Boyer, M., Loertscher, F., Sommer, S. & Menzi, U. (2006). Ant navigation: one-way routes rather than maps. *Current Biology*, 16(1), 75-79.
- Wehner, R. & Srinivasan, M. V. (2003). Path integration in insects. In K. J. Jeffery (Ed.), *The Neurobiology of Spatial Behaviour* (pp. 9-30). Oxford: Oxford University Press.
- Whener, R. & Whener, R. (1990). Insect navigation: use of maps or Ariadne's thread. *Ecology & Evolution*, 2(1), 27-48.
- Wilensky, U. (1997). *NetLogo Ants model*. Evanston, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Retrieved from <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ants>.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. Evanston, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Downloaded from <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
- Wilensky, U. & Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wittlinger, M., Whener, R. & Wolf, H. (2006). The ant odometer: stepping on stilts and stumps. *Science*, 312(5782), 1965-1967.
- Wittlinger, M., Wolf, H. & Whener, R. (2007). Hair plate mechanoreceptors associated with body segments are not necessary for three-dimensional path integration in desert ants, *Cataglyphis fortis*. *Journal of Experimental Biology*, 210(3), 375-382.
- Wolf, H. (2011). Odometry and insect navigation. *Journal of Experimental Biology*, 214(10): 1629-1641.

# La Biosemiótica como una de las Ciencias de la Complejidad

**Carlos Eduardo Maldonado**

Profesor Titular  
Facultad de Medicina  
Universidad El Bosque

[maldonadocarlos@unbosque.edu.co](mailto:maldonadocarlos@unbosque.edu.co)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9262-8879>

Recepción: 20/10/2020  
Aceptación: 18/11/2020

## Resumen

Este artículo plantea una tesis: la biosemiótica puede ser considerada como una de las ciencias de la complejidad, al lado de las otras ciencias ya clásicas y conocidas como el caos, la termodinámica del no-equilibrio, las redes complejas y otras. Para ello, se elabora el estado del arte en las relaciones entre biosemiótica y complejidad, un estado de la cuestión, en verdad, muy limitado. La estrategia general consiste en presentar un cuadro general, científico, filosófico e histórico que explica al mismo tiempo en qué consiste la biosemiótica y cuáles son sus particularidades. En todos los casos, la idea es clara: los signos son fenómenos reales propios de los sistemas vivos. Y las ciencias de la complejidad son ciencias de la vida.

**Palabras clave:** Historia de la ciencia, Filosofía de la ciencia, Epistemología, Ciencias de la complejidad, Comunicación de los sistemas vivos

## Abstract

This paper brings forth a brand new claim, namely biosemiotics can be considered as one of the sciences of complexity, along with the other already known ad classical sciences such as chaos, non-equilibrium thermodynamics, complex networks, and others. As a support, the state-of-the-art is depicted on the relations between bio-semiotics and complexity, a state truly limited. The general strategy here consists in presenting the general scientific, historical and philosophical framework which explains both what biosemiotics is about and its characteristics. In any case, the idea is clear, thus: signs are real phenomena of or within the living systems. The sciences of complexity are sciences of life.

## Key Words

History of science, Philosophy of Science, Epistemology, The Sciences of Complexity, Communication in Living Systems

## Introducción

El origen de la biosemiótica ha sido suficiente narrado (Favareau, 2008). Nace en el ámbito de la biología, se extiende rápidamente a la lingüística y la computación, y permea a la filosofía. No en última instancia, interpela a los estudios culturales (Wheeler, 2006). Con antecedentes claros desde los años 1950s, se consolida como un campo propio a comienzos del siglo XXI a raíz: a) de la creación de la revista *Bio-*

*semiotics* (Springer Verlag), y b) de la sociedad internacional de biosemiótica, que lleva a cabo encuentros regulares cada año. Entre los pilares fundacionales se encuentran Th. Sebeok, M. Barbieri, J. Hoffmeyer, C. Emmeche, M. Florin, K. Kull. Esta historia ha sido contada en varias ocasiones (Barbieri, 2009). Claramente, la biosemiótica constituye uno de los ejemplos recientes más importantes en un esfuerzo por pensar de manera sintética o unificada; esto es, superar las divisiones de distintas ciencias y disciplinas o, lo que es equivalente, integrar aproximaciones y comprensiones anteriormente divergentes.

Han surgido interpretaciones o comprensiones diferentes sobre la biosemiótica. En unas ocasiones, ha sido considerada como una nueva ciencia (Gálik, 2013); en otros momentos, como una extensión de la biología (Brier, 2016). Asimismo, se la ha concebido como un trabajo de unificación de diferentes ciencias y disciplinas (Barbieri, 2007) o como un campo novedoso interdisciplinario (Sharov, 1992), a saber: como la unificación entre la biología, la lingüística y la filosofía. En todos los casos, sin embargo, se trata de una investigación acerca de los aspectos más fundamentales de los sistemas vivos. Estos aspectos son distintivamente informacionales o comunicacionales. La vida es comunicación, creación, interpretación e incluso transformación de signos y códigos.

Este artículo sostiene que es posible, y que, de hecho, existe un fuerte nexo entre las ciencias de la complejidad y la biosemiótica, algo que no ha sido suficientemente advertido de un lado o del otro. Para ello se suministran distintos argumentos, así: en primer lugar, se presenta una comprensión sintética de lo que es la biosemiótica. Con ella, emerge la idea de una nueva física en la historia de la humanidad. El segundo argumento elabora el estado del arte de los antecedentes y relaciones entre complejidad y biosemiótica. El tercer argumento permite comprender mucho mejor qué se entiende por la biosemiótica; la que se presenta aquí es de una interpretación interesada y cargada con fines de complejidad. Específicamente se elabora un cuadro de relaciones y desarrollos. El cuarto argumento explora el significado y los alcances de las relaciones establecidas. Al final se extraen algunas conclusiones, siendo la más importante que es perfectamente posible e incluso legítimo, comprender a la biosemiótica como una de las ciencias de la complejidad.

## 1. Biosemiótica en una cáscara de nuez

A partir de 1966 se empezó a descifrar el código de la vida. Sobre la base del descubrimiento de “el dogma central de la biología” por parte de Watson y Crick en

1953, se logró identificar inicialmente el código genético constituido por cuatro pares de letras, y en ocasiones una letra adicional: adenina, citosina, timina, guanina y, en ocasiones, el uracilo. La vida tal y como la conocemos, desde los extremófilos hasta los seres humanos está escrita con base en estas cuatro letras. Algún autor llegó a hablar de “el gen egoísta”. Posteriormente, la identificación del alfabeto básico de la vida permitió identificar el RNA en sus dos expresiones: RNAt y RNAm. La lectura del código genético permitió establecer los procesos de complejidad, desde el código genético que da lugar inicialmente a las enzimas, luego los aminoácidos, los péptidos, y de ambos a las proteínas hasta llegar después al ribosoma y en fin a la comprensión de los seres de mayor complejidad. Al cabo, la biología descubrió las redes y cadenas y nació la biología de sistemas con todas las ómicas: glucómica, transcriptómica, proteómica, genómica, metabolómica y demás. De la lectura del código genético se pudo pasar a la escritura sobre la misma. En cualquier caso, ha quedado claramente establecido que los sistemas vivos se estructuran en términos de códigos de información. Esta es la historia que cubre desde 1966 hasta la fecha; los resultados aún más importantes están por descubrirse, hacia adelante.

Algunos logros recientes de esta línea de investigación han permitido avances en la medicina y en la comprensión de distintos tipos y tratamientos de enfermedades. El resultado alcanzado consiste en un entrelazamiento entre la biología computacional, la computación biológica, la biología sistémica, la biología de redes y la biología sintética. Un panorama ciertamente sugestivo y novedoso. Pues bien, cabe decir que el hilo que unifica a estas cinco dimensiones es el tema de la información o comunicación de los sistemas vivos, o también, de todas las instancias de la vida. La trama de la vida, según todo parece indicarlo, es ulteriormente una trama informacional o comunicativa. Dicho de manera sucinta y directa, se trata de la síntesis entre biología y semiótica. Esto es exactamente la biosemiótica.

El surgimiento de la biosemiótica coincide también con los trabajos pioneros por parte de Sebeok acerca de las raíces biológicas de la cultura. Esta línea de trabajo encuentra numerosas ramificaciones, desde los trabajos de Maturana y Varela, Goodwin y Solé, Kauffman, y recientemente Damasio. Alrededor de los trabajos pioneros de Sebeok en los años 1960s nacen la etología y la cibernética. El problema de base en uno y otro caso es estudio de los comportamientos comparados entre animales y seres humanos y el problema del control en las máquinas, todo lo cual tiene como denominador común el hecho de que los animales tienen sistemas de comunicación; y algo análogo sucede en las máqui-



nas mismas. Ello comporta el diálogo o la convergencia entre las ciencias del comportamiento, las ciencias cognitivas, la biología y la filosofía, principalmente. Sin embargo, a partir del encuentro entre estos grupos de ciencias son numerosos los campos que se benefician de ellas, incluyendo a las ciencias sociales y humanas y a la medicina. Un punto de encuentro fundamental en este espectro fue el nacimiento y desarrollo de la epigenética (Jablonka y Lamb, 2005).

Al cabo, resulta evidente que las distancias entre los seres humanos y la naturaleza son mucho menos evidentes de lo que se creía, y que es posible una física común a la naturaleza y a la cultura. Se trata de la teoría de la información.

Son numerosos las confluencias y desarrollos en esta línea de investigación. Uno que merece un lugar destacado es el descubrimiento de la biología de la comunicación en las plantas, posible especialmente gracias a los trabajos pioneros de Baluska y Mancuso (2006). En el plano computacional y de las ciencias de la complejidad, emerge la hipercomputación biológica como el reconocimiento expreso de que los seres vivos no procesan información, en absoluto, a la manera de una máquina cualquiera de Turing (existen y son posibles distintas máquinas de Turing: máquinas de Turing universal, alternativas, simétrica, no determinista, probabilística, de lectura, cuántica, y otras) (Maldonado, Gómez, 2015; Maldonado, 2018a).

En cualquier caso, dos premisas sirven de basamento a la biosemiótica. De un lado, se trata del reconocimiento explícito de que la vida y la semiosis son coextensivas. Así, la semiosis aparece en el origen mismo de la vida. Queda pendiente por lo pronto la consideración acerca de las relaciones entre semiosis y la materia inanimada, digamos el universo. Este tema abre las puertas al pansiquismo, una tesis que debe quedar aquí de lado por razones de espacio (Kauffman, 2016; Maldonado, 2018b). De otra parte, al mismo tiempo, se trata del hecho de que los signos, los significados y los códigos son entes naturales. Con este reconocimiento se corta de tajo las posibilidades del "diseño inteligente" o cualquier variedad del mismo.

Como quiera que sea, es importante atender al carácter o a la naturaleza misma de los signos. A diferencia de los símbolos, los signos son abiertos y referenciales; los símbolos, por el contrario, son cerrados y autorreferenciales. Así, la idea de signo se corresponde con la de redes, y por consiguiente, con la ausencia de centralidad y de jerarquías. Los signos pueden ser codificados, como de hecho sucede, pero esta codificación no implica, de ninguna manera, que el código sea cerrado; simple y

llanamente, es el hecho de que el sistema de signos puede ser copiado, o replicado o transmitido. Lo que hacen los sistemas vivos, consiguientemente, es leer e interpretar incesantemente los signos que encuentran alrededor, los signos que les llegan, en fin, incluso, si cabe, los signos que ellos mismos emiten o transmiten. De esta suerte, procesar información –es decir, procesar bien la información– se convierte, finalmente, en un asunto de vida o muerte. Una buena interpretación o procesamiento de los signos se traduce en mayor adaptabilidad, y por el contrario una deficiente interpretación o procesamiento de los signos recibidos o encontrados puede convertirse en un callejón sin salida.

En el sentido amplio –si cabe, filosófico– de la palabra, la vida en general –esto es, los sistemas vivos–, son bastante más que compuestos orgánicos de moléculas físico-químicas. Mucho mejor, los sistemas vivos son sistemas semióticos. Si en el siglo XIX, por ejemplo, con Saussure, la semiótica era un asunto exclusiva o distintivamente humano, con la biosemiótica la semiosis es un fenómeno transversal y unificante de todas las formas de vida. Sin cesar, los sistemas vivos emiten signos, los codifican, los decodifican, y los interpretan. Las distinciones mencionadas son, aquí, meramente analíticas.

Diversos autores han expresado esta idea de un modo general, así: la vida es conocimiento; es decir, los sistemas vivos son el resultado de procesos cognitivos y dan lugar, a su vez, a inmensos procesos de cognición en la naturaleza y el mundo. No en otra cosa consiste al fin y al cabo la evolución. La tradición de autores que se sitúan en esta longitud de onda comprende a algunos representantes de la ciencia de sistemas –notablemente, Bateson y Von Foerster–, se proyecta a través de Maturana y Varela –y su idea, novedosa, de la autopoiesis–, y alcanza a autores tan notables como Goodwin, Solé y Kauffman, entre muchos otros. Al cabo, esta línea de comprensión da lugar a una rama perfectamente propia que es el conocimiento encarnado, uno de cuyos padres es, sin lugar a dudas, F. Varela (*embodied knowledge*) (Varela, 1992). La expresión más reciente de esta línea de trabajo e investigación se llama también como *embodied cognition*.

Una consecuencia inmediata debe ser subrayada. La biosemiótica pone de manifiesto que los organismos vivos son determinantes en el proceso de la evolución. Si bien esta idea podría resaltar el acento lamarckiano de la teoría de la evolución –lo que, en efecto, es el caso–, lo verdaderamente determinante es el hecho de que la semiosis destaca la dimensión epigenética de la evolución. De esta suerte, la biología es bastante más que el estudio de organismos vivos en su hábitat, en cada

caso. Mucho mejor, es el estudio de procesos semióticos en la naturaleza. La semiosis es el origen mismo de la vida, y es lo que hacen los sistemas vivos para vivir. Es decir, interpretar o codificar sistemas de signos. De esta suerte, un sistema vivo es aquel que logra mantenerse como autónomo en medio de constantes procesos de cambio en el medioambiente. La autonomía debe, así, ser entendida como la incesante adaptación que sostiene al sistema vivo como sí mismo (*self*) (Varela, 2000). La última o la más reciente vertiente de esta línea de trabajo es la enacción (Stewart et al., 2014). En fin, como se aprecia sin dificultad, se trata de varias ramas que transforman y enriquecen profundamente a las ciencias cognitivas y a la biología, al mismo tiempo, presentándose varias conexiones en ambas direcciones. Un panorama intelectualmente apasionante.

Ahora bien, no existe algo así como un corpus ortodoxo de la biosemiótica. Por el contrario, distintas escuelas o líneas de comprensión existen y varias de ellas disputan entre sí (Gálik, 2013). Estas divergencias no nos conciernen aquí. Lo verdaderamente relevante es la emergencia y consolidación de un área de trabajo cruzado, transversal, convergente o interdisciplinario –como se prefiera–, en el que la oposición y acaso la jerarquía entre la dimensión humana de la vida y la demás en la naturaleza desaparece pues se integran en un sólo conjunto en el que lo verdaderamente importante consiste en los procesos de significación cruzados entre todas las escalas de la vida. De manera puntual, la crisis del Covid-19 puso de manifiesto que los virus son componentes esenciales de la trama de la vida que deben ser tenidos en cuenta a la par de todas las demás escalas y esferas de la vida. Hasta antes de la emergencia de la crisis del Covid-19, el papel más destacado lo llevaban las bacterias. En fin, dicho en una sola palabra: desde los virus y las bacterias, incluyendo los procesos genéticos y sus derivaciones –péptidos, proteínas y demás–, hasta toda la trama de los sistemas vivos, con sus especificidades ecológicas y su diversidad, incluyendo en ellos a los seres humanos – todo es un entramado polifónico de signos cruzados que es indispensable leer bien, interpretar adecuadamente y codificar y decodificar sin cesar. Si en la ecología se ha hecho el aprendizaje que no existen especies clave, asimismo en biología –en sentido amplio y laxo, que incluyen naturalmente también a los seres humanos–, la semiosis es un fenómeno fundamental e inaplazable. Este reconocimiento es la contribución misma de la biosemiótica a la comprensión de los sistemas vivos y de la vida en general.

## 2. El estado del arte en las relaciones entre complejidad y biosemiótica

Mientras que, luego de una mirada atenta a ambos

campos, existe una amplia afinidad, por decir lo menos, entre biosemiótica y complejidad, es sorprendente que no existan suficientes trabajos explícitamente desarrollados sobre ambos dominios. De este modo, un estado del arte es, a la fecha, algo fácil de llevar a cabo.

Este estado del arte implica explícitamente la distinción entre ciencias de la complejidad y ciencia de sistemas, dos cosas perfectamente diferentes y sobre cuyos rasgos específicos basta, sencillamente con indicar a una parte de la bibliografía especializada (cfr. Meyers, 2009). De esta suerte, si bien G. Bateson merecería un lugar especial –como es efectivamente el caso, como lo advierte explícitamente Sebeok (1994)–, debe quedar aquí provisoriamente de lado. Sugerente como es, la obra de Bateson pertenece al pensamiento sistémico.

Dicho de manera general, la complejidad, la biosfera y la vida son nociones de conjunto; es decir, exigen ser comprendidas de forma sintética, y por tanto no analítica. Pues bien, como quiero decirlo explícitamente, la biosemiótica se caracteriza por una estructura mental sintética. Se trata de la síntesis entre las ciencias naturales, las ciencias sociales y las ciencias humanas a partir del reconocimiento explícito de que aquello que las integra o unifica es el universo de los signos. Y que los signos son bastante más que una caracterización meramente humana o natural: atraviesan e integran a la vez ambas esferas. Dicho en términos elementales, la biosemiótica es inter – o trans, o multidisciplinaria. Las diferencias entre ellas son, en este contexto, irrelevantes. Esta caracterización ya queda suficientemente establecida en la bibliografía especializada.

Hasta la fecha, explícitamente, son cinco los textos que entablan una relación explícita y directa entre complejidad y biosemiótica. Cronológicamente, estos son<sup>1</sup>:

- i) R. Thom, *Esbozo de una semiofísica* (1990). Thom forma parte de los autores canónicos de las ciencias de la complejidad en la medida misma en que la teoría de catástrofes es, clásicamente, una de las ciencias de la complejidad. La idea de una semiofísica coincide, como se verá a continuación, con la idea misma de una física de realidades inmatrimales. En palabras del matemático francés, la semiofísica “se refiere en primer término a la investigación de las formas significantes” (Thom, 1990: 13). Dos rasgos definen a una física semejante: las saliencias y las pregnancias. Las primeras son elementos que pueden obrar entre sí

---

1 Indico a continuación en español lo que hay traducido, y en inglés lo que, hasta la fecha, permanece sin ser traducido al español.

“como seres vivos”. Las segundas se propagan de una forma saliente a otra, a las que caracterizan. Como se aprecia, se trata de neologismos tendientes a comprender lo que para Aristóteles es, en una palabra, el hylemorfismo. En la comprensión de Thom, el Aristóteles físico antecede y funda al Aristóteles filósofo, pero la mediación entre ambos se encuentra en el Aristóteles biólogo. Comprender estas relaciones comporta una lectura cuidadosa del texto de Thom. En cualquier caso, lo determinante es el hecho de que la semiofísica es la forma como Thom *–avant la lettre–*, entiende, correctamente por lo demás, a la biosemiótica. Sólo que mientras que en esta última el acento está puesto en los sistemas vivos, en Thom se amplía al universo y la naturaleza no animada, y desde ésta, entonces, también, a los seres vivos.

- ii) Hoffmeyer, *Signs of Meaning in the Universe* (1997). Hoffmeyer no forma parte de los autores canónicos de la complejidad. Desconocido por los complejólogos, es, sin embargo, uno de los autores centrales en la biosemiótica. Explícitamente, sabe de caos y bifurcaciones. El autor danés es, sin la menor duda, el más radical autor en la comprensión de la biosemiótica dado que es quien más se arriesga a una extensión de la semiosis a los seres no-vivos e inanimados; sin más, al universo. En este sentido existe una confluencia interesante con Thom y, como se verá más adelante, con Kauffman. De esta suerte, los signos admiten una comprensión física, y no solamente biológica. Dicho en una palabra, los signos son hechos naturales, algo que si bien es aceptado en general por la biosemiótica, debe ser entendido en sentido literal con Hoffmeyer, extensible a la no-distinción entre sistemas vivos y no-vivos. En este sentido, para Hoffmeyer no existe o no es posible una diferenciación entre sistemas semióticos y no-semióticos, algo que sí sucede en la mayoría de los autores de la biosemiótica (Barbieri, 2007).
- iii) R. Solé y B. Goodwin, *Signs of Life* (2000). Este libro estudia el abanico amplio de indicios que ponen en evidencia qué es la vida y en dónde puede decirse que hay vida. Estos indicios son signos mediante los cuales la complejidad muestra, claramente, que la biología es una ciencia que se ocupa bastante más que de organismos vivos, en el sentido positivista o clásico de la palabra. En este sentido, sin que aparezca jamás en todo el libro la palabra “biosemiótica”, puede decirse que es un estudio sobre semiosis, *avant la lettre*. Solé y Goodwin pueden ser considerados dentro del abanico de autores de las ciencias de la complejidad,

sin ninguna ambigüedad. Profusamente ilustrado con argumentos matemáticos, informacionales y computacionales, el libro estudia las dinámicas de vida desde los organismos más simples como los virus y las bacterias, pasando por las hormigas y el cerebro humano hasta las ciudades y los mercados financieros. Todos exhiben comportamientos y dinámicas propios de los sistemas vivos, lo que permite ampliar una visión restrictiva de la biología para sostener algo como lo siguiente: la biología es la ciencia que estudia los sistemas vivos, pero la vida es un fenómeno complejo, no-lineal y bastante menos evidente que la simple clasificación con base en criterios como los de Linneo (género, especie, familia, etc.)

Los sistemas vivos deben ser comprendidos a partir de sus propiedades y características, y no con una pre-comprensión o definición a priori. En este sentido, los autores destacan el hecho de que los sistemas vivos viven en el filo del caos, en el filo de las catástrofes, en fin, no pueden ser explicados sino relativamente a una medición de entropía. En una sola palabra: se trata de considerar exactamente los signos de vida: esta es la tarea de las ciencias de la complejidad.

- iv) W. Wheeler, *The Whole Creature* (2006). Profesora de literatura y estudios culturales, Wheeler es la primera autora que explícita y directamente se ocupa de las relaciones entre complejidad y semiótica. Su enfoque es distintivamente cruzado, transversal, orientado particularmente a la importancia de la biosemiótica en el espectro humano; en especial en los procesos de creatividad. Se trata, sin la menor duda, de un libro innovador y arriesgado que entra allí en donde nadie había entrado hasta la fecha.

Con un conocimiento sólido de lo mejor que hasta el momento (2006) se ha producido en ambos dominios (Barabasi, Boden, Byrne, Goodwin, Jablonka y Lamb, Kauffman, Margulis, Prigogine y varios otros, de un lado; y Hoffmeyer, Kull, Sebeok, Sennett, Varela y otros más, de otra parte), Wheeler concibe a la cultura como un fenómeno claramente enraizado en la biología y la evolución en tanto que proceso cooperativo y simbiótico.

La complejidad ha sido resultado de una larga gestación, sostiene la autora inglesa, al cabo de la cual hemos podido llegar a una conclusión sin ambages, a saber: la biología humana y la biología natural “are palpably *not* human constructs, either mastered or made. They are powerfully semiotic

(...) but they are not 'constructed in discourse'" (Wheeler, 2006: 17). Esta gestación de la complejidad coincide con los desarrollos mismos de la biosemiótica con lo cual, manifiestamente, cabe hablar de una "libertad semiótica".

Mediante esta confluencia entre complejidad y biosemiótica, asistimos, sin más, a un magnífico cambio de paradigma que ha estado teniendo lugar durante los últimos sesenta a ochenta años; es decir, en algún momento a partir de los años 1930s, aproximadamente. Pues bien, todo el libro de Wheeler consiste en la mirada a este cambio de paradigma y al estudio de sus consecuencias. Un excelente trabajo exploratorio y creativo, al mismo tiempo.

- v) S. Kauffman, *Humanity in a Creative Universe* (2016). Uno de los fundadores de las ciencias de la complejidad, Kauffman forma parte de la primera línea de investigadores en el tema. Al mismo tiempo, es quien expresamente, aunque de manera puntual, habla de biosemiótica. Sin duda alguna, su formación en medicina y biología le permiten trazar el puente entre los dos ejes que aquí nos ocupan.

El libro de 2016 es el trabajo filosófico de un investigador ya connotado. Que es cuando, habitualmente, los científicos se permiten elaboraciones más libres y amplias. Son dos los pasajes en los que se alude expresamente a la biosemiótica. En primer lugar, se trata de dejar en claro que los sistemas vivos son lo que hacen, y no un cierto material o componente. Pues bien, ya a partir de la *E. coli* es posible decir que lo que hacen los sistemas vivos es "sentir" (*sensing*) los estados posibles del mundo. "This sensing of its world's possible states (...) constitute 'biosemiotics' at its root" (Kauffman, 2016: 69). La forma como en biología, en biosemiótica y en ciencias cognitivas se comprende a esta sensibilidad es como *quorum sensing*. Dicho de manera precisa, se trata de la capacidad que tiene una célula para detectar y responder a una determinada densidad poblacional mediante regulación genética.

Los sistemas vivos son, manifiestamente, agentes, sin que ello implique, necesariamente la idea de conciencia o de libre albedrío –que son temas o problemas distintivamente humanos-. Pues bien, la biosemiótica, sostiene Kauffman, constituye uno de los rasgos precisos que permiten comprender a un sistema vivo. Específicamente, estos rasgos son: la capacidad para reproducirse, lleva a cabo

por lo menos un ciclo de trabajo, puede sentir el mundo (= biosemiótica), puede distinguir lo que es "bueno" y "malo", puede decidir entonces qué hacer, y puede actuar en búsqueda de comida y evitando toxinas (cfr. Kauffman, 2016: 234).

Como se aprecia sin dificultad, la biosemiótica, la homeostasis y la metabolización constituyen una sólida unidad que permite comprender, sin ambages, qué es, y qué hace, un sistema vivo.

La relación entre la complejidad y la biosemiótica consiste exactamente en una comprensión de la vida y de los sistemas vivos en términos de actividades o procesos. Así, cualquier atisbo de platonismo y aristotelismo queda desbaratado, como queriendo comprender ontológica u ópticamente –para el caso da lo mismo- a la vida; es decir, en términos de una sustancia o hipótesis cualquier que permitiría decir que la vida es "x", esto es, un componente determinado. En este sentido, la amistad o el amor no existen; alguien es amigo por lo que hace (o lo que deja de hacer), y alguien se dice que ama por sus comportamientos, gestos y actitudes, y no porque exista una esencia llamada amor. Aristóteles se acercó a esta idea cuando sostenía que no existe la virtud, sino hombres virtuosos.

Pues bien, exactamente en este sentido, los sistemas vivos pueden ser comprendidos a partir de lo que hacen; y lo que hacen son signos, es decir, codificaciones de información, interpretaciones y decodificaciones, incesantemente. Los sistemas vivos son procesos siempre inacabados y constantes de semiosis. Dicho sin más, la vida es un proceso no un estado; una dinámica, no una cosa (*stuff*, o *Ding*).

En verdad, si bien los signos son entidades reales en la naturaleza –esto es, en otras palabras, hechos (*facts*) que los sistemas vivos al mismo tiempo producen y encuentran en su entorno (*Umwelt*)-, estos sólo existen en una dinámica consistente en codificación, interpretación y decodificación. Esta es la lógica misma de la vida, y la evolución consiste en procesos semióticos permanentes. La adaptación es, dicho sin más, el resultado de la semiosis de los sistemas vivos, en el sentido de que a mayor y mejor semiosis, mejor adaptabilidad, y por el contrario, a menor capacidad semiótica, menos suficiencia adaptativa.

Hubiera sido deseable que la comunidad de investigadores en ciencias de la complejidad hubiera puesto algo más de atención a la biosemiótica. Seguramente los avances en ambos casos habrían sido más significativos.

Es preciso, en este estado del arte en las relaciones

entre ambos ámbitos considerados, resaltar que la semiótica no es una construcción humana; por el contrario, se trata de la identificación de signos existentes en la naturaleza que remiten a las interacciones entre el observador (= sujeto humano) y lo observado (= los sistemas vivos). En otras palabras, los seres humanos participan de la semiótica de la naturaleza pero no son los creadores de la misma, algo que contrasta notablemente con las lecturas clásicas sobre la semiótica, desde F. de Saussure hasta U. Eco. Los seres humanos viven en signos, ciertamente crean signos, pero los signos mismos no son el resultado simple y llanamente de creaciones culturales humanas. Por ello mismo cabe hablar, en toda la línea de la palabra, de biosemiótica. La complejidad, si cabe decirlo así, estriba en la horizontalidad –o en el carácter relacional– entre los seres humanos y el conjunto de los sistemas vivos y la naturaleza. A los libros mencionados es preciso agregar, a la fecha, un artículo, adicionalmente. Se trata de (Kosoy y Kosoy, 2018). Haciendo uso de las ciencias de la complejidad y de la biosemiótica, los autores se concentran en la ecología y el estudio de las enfermedades infecciosas. Por consiguiente, el tema ya no es directamente el de las relaciones entre biosemiótica y complejidad –algo que se da por sentado–, sino, a partir de su interacción, comprender a los agentes patógenos de origen zoonótico en términos de su “importancia funcional”. Los autores proponen un modelo para interpretar la evolución de los agentes patógenos a partir de los sistemas de signos, señales y significados en una oscilación entre simplicidad y complejidad. El tema de base es la evolución de las enfermedades y la ecología de las infecciones.

Pues bien, a partir del estado del arte presentado es posible profundizar en el marco cultural y científico en el que emergen las interacciones entre complejidad y biosemiótica.

### **3. Biosemiótica como complejidad: una breve historia de la ciencia reciente**

Los orígenes de la biosemiótica pueden remontarse al siglo XIX con los trabajos de Ch. S. Peirce, pasando por las contribuciones de von Uexküll en el giro del siglo XIX al siglo XX, algo que ha sido explícitamente mencionado en las historias sobre la biosemiótica. Sin embargo, la atmósfera científica y filosófica del surgimiento de la biosemiótica y su encuentro con las ciencias de la complejidad puede concentrarse a partir de los años 1950s, aproximadamente. Todo tiene que ver con los más apasionantes desarrollos que pueden concentrarse, en general, alrededor del concepto de “información”.

Como es sabido, en 1948 nace, gracias al *paper* famo-

so de Shannon y Weaver la teoría de la información. Propiamente, gracias a los desarrollos que va a tener la misma, hay que decir, en rigor, que se trata de la teoría clásica de la información, a fin de distinguirla de los desarrollos subsiguientes, a partir de los años 1980s y 1990s. Con la teoría de la información nace un concepto novedoso en física que explica más y mejor lo que explicaba el concepto de masa en la física del siglo XVIII, y el de energía en el siglo XIX (Maldonado, 2020). Con una salvedad fundamental: el concepto de información es físico, pero inmaterial, o no tangencial. Este reconocimiento explícito es debido a R. Landauer (1991).

Por primera vez en la humanidad, existe una física de fenómenos inmateriales, en marcado contraste con la física de Aristóteles, Galileo y Newton, por ejemplo. Se trata de la física de la información si bien, algunos aspectos podrían extenderse también sin dificultad a la física cuántica, la cual es igualmente contraintuitiva.

Una serie de ciencias y disciplinas acompañan y coinciden con esta física. N. Wiener originariamente y luego también Ashby desarrollan la cibernética la cual, si bien se ocupa de los mecanismos de control en las máquinas y seres humanos, se funda en la información; esto es, en el control de la información como la forma de comprender el control en las máquinas y en los seres humanos. No en vano la cibernética se halla perfectamente permeada por la computación en toda la extensión de la palabra. Al cabo, la cibernética se desarrollará, notablemente con von Foerster como cibernética de segundo orden: relaciones de relaciones – mucho más que cosas u objetos físicos. (Relativamente muchos de los artículos sobre biosemiótica, particularmente de autores escandinavos, serán publicados en revistas de cibernética).

Cimentada en los trabajos pioneros de Tinbergen y de K. Lorenz este mismo momento verá el nacimiento de la etología; es decir, el estudio del comportamiento comparado entre los animales y los seres humanos. Así, los comportamientos son significativos y significantes. A la postre, notablemente con las investigaciones de F. de Waals, se logra estudiar el nacimiento de la ética también en los primates, y entonces el origen no humano de los sentimientos de lo bueno y lo malo (de Waals, 2005).

En la década de 1960s Sebeok llama, por primera vez la atención acerca de los procesos comunicacionales entre los animales; al comienzo, en las abejas. Ello da nacimiento a la primera manifestación de la biosemiótica, que es la zoosemiótica. De esta suerte, los animales poseen un mundo de sentidos, significaciones y signos y viven en él. Por otro camino, O. Wilson estudiará, ce-

trado en la mirmecología, el mismo fenómeno de comunicación, lo cual dará lugar al descubrimiento, perfectamente anodino, de que también en las hormigas existe un mundo cultural, análogo al de los seres humanos (Hölldobler y Wilson, 1996).

Unos años después (2006), a partir de las investigaciones pioneras de F. Baluska, nace la neurofisiología de las plantas, cuyo principal exponente hoy es S. Mancuso. Se sientan, así, todas las bases de la fitosemiosis (Kull, 2000). De consuno, la botánica desaparece y nace la neurofisiología de las plantas, un campo novedoso y muy fructífero a pesar de su juventud.

Fundada en los desarrollos de las ciencias cognitivas y las ciencias del comportamiento, nace en los años 1990s la antroposemiosis, que se ocupa del estudio de los comportamientos significativos, y no solamente de las expresiones –verbales o escritas- de significación. Los comportamientos humanos son portadores de significado, y vehiculan también sistemas de signos que no coinciden necesariamente con las expresiones verbales o escritas, y por tanto, con la lógica de predicados o proposicional.

Como se aprecia, la comprensión de la biosemiótica es bastante distinto y mucho más completa que la consideración, simplemente, de emisor, mensaje y receptor, incluso incluyen lo que los ingenieros distinguen como “ruido blanco”, “ruido negro” y ruido rosado”, según si hay un ruido en el mensaje por causa del emisor, del canal o del receptor. Mientras que la semiótica permanece en un marco distintivamente antropocéntrico y antropológico, la biosemiótica, por el contrario, admite un marco inmensamente más amplio, a saber: el contexto de toda la trama de la vida.

En sus expresiones más radicales los problemas últimos en el cruce entre biología y filosofía admiten condiciones de solución; esto es, el origen de la vida es semiótico y, asimismo, la lógica de la vida consiste en procesos correspondientemente semióticos. Sin embargo, hay que advertir explícitamente que nada de ello comporta, en absoluto, una carga reduccionista; al fin y al cabo, los procesos semióticos coinciden con la evolución en tanto son abiertos e incesantes.

Los procesos semióticos pueden ser comprendidos a la manera de una orquesta sinfónica, que es una de las expresiones más depuradas de democracia. La comprensión clásica de la lingüística, la semiótica e incluso la ingeniería, explica el fenómeno de manera muy rudimentaria. El emisor emite un mensaje a través de un canal determinado. Seguidamente el receptor recibe el mensaje y lo interpreta; y entonces lleva a cabo una re-

acción, que usualmente es la producción de un mensaje correspondiente. Es en el proceso intermedio que se identifica el ruido, ocasional o necesario en el proceso de comunicación.

En una orquesta sinfónica existe una total polifonía; unos instrumentos dialogan con otros, incluso llevan a cabo conversaciones y monólogos al mismo tiempo o también independientemente de lo que están diciendo los demás instrumentos. Y todos logran comunicarse de manera magnífica, en muchas ocasiones interpeándose al mismo tiempo, en muchos momentos entrecortándose en las conversaciones, en otros momentos a través de soliloquios in crescendo o intempestivos. Vientos con cuerdas, metales con percusión, y el orden no siempre es lo más determinante. Es sólo excepcionalmente cuando unos instrumentos son emisores y entonces otros reciben y contestan. La polifonía es total y, así, la semiosis es real. Es el resultado de estas superposiciones, complementariedades, interlocuciones, monólogos y conversaciones a muchas voces lo que produce el más perfecto de los resultados, a saber: la armonía; en este caso, la armonía musical. Como es sabido en los altos estudios de formación musical, escribir una sinfonía equivale a obtener o a hacer un doctorado. Es la obra de mayor complejidad, relativamente a los tríos, cuartetos, sonatas, música de cámara e incluso de la forma concierto. Como quiera que sea, es claro que originariamente la polifonía designa al canto plural, no únicamente a la orquesta sinfónica.

Pues bien, la semiosis en la naturaleza tiene lugar en la forma de polifonía. Exactamente en este sentido, los esquemas ecológicos del tipo presa-depredador son simplistas y mecánicos. No en vano, ya nadie serio estudia hoy en día las dinámicas ecológicas con base en, por ejemplo, las ecuaciones Lotka-Volterra (Botkin, 1990). (Cabe subrayar, incluso la distancia que media entre 1990 y la fecha de hoy, lo cual acentúa el carácter desueto, o simplemente histórico del modelo Lotka-Volterra).

En la historia o el marco científico en el que emerge la biosemiótica, que contribuye al mismo tiempo a caracterizar en qué consiste esta nueva ciencia, es indispensable mencionar un eslabón que conecta a la biosemiótica y las ciencias de la complejidad. Se trata de la biología cuántica. Esta estudia los efectos cuánticos en los comportamientos de los animales, y ha sido profusamente estudiada y ejemplarizada. Por ejemplo, en los modos o sistemas de orientación de las aves migratorias, en el funcionamiento del cerebro humano, en la identificación de los polos magnéticos de la biosfera o también en la identificación de diferentes campos magnéticos –por ejemplo, los generadores por los seres humanos-,

en los sistemas olfativos de numerosas especies, en fin, en las formas de comunicación interespecies, como en el caso de la comunicación en la rizosfera, entre hongos y plantas, bacterias y hormigas, y varios más. La biología cuántica ha sido observada igualmente en la comunicación entre las plantas. Se trata, en todos los casos, de estudios recientes y sin embargo ampliamente documentados (Marais et al., 2018).

Como se aprecia sin dificultad, la naturaleza es una magnífica trama de procesos semióticos, esto es, comunicacionales y/o informacionales. Esta idea permite poner explícitamente una consecuencia perfectamente revolucionaria que sirve al mismo tiempo como hilo unificador o conductor a través de los distintos referentes históricos, culturales y científicos mencionados: etología, cibernética, neurofisiología de las plantas, y demás. Asistimos, gracias a la tercera revolución científica –la teoría de la información- y el entronque resultante con la segunda revolución científica –la teoría cuántica-, al surgimiento de una física de realidades inmateriales: la información o, lo que es equivalente, la semiosis –el mundo de los signos-. Esta física de fenómenos inmateriales, es decir, no tangenciales, se encuentra en marcado contraste con toda la física habida desde Aristóteles incluyendo a Galileo y Newton, que es física de cuerpos materiales. Mientras que los cuerpos físicos se afirman sobre el primado de la percepción natural y de los cinco sentidos, la información y la semiosis son altamente contraintuitivos. A la información no se la ve con la percepción natural. Lo que se ve son los dispositivos de la información y la comunicación: el radio, el televisor, el computador, el celular y demás.

Hay varias maneras de comprender a la física de fenómenos inmateriales. Con Thom, puede decirse que es la semiofísica; con la mejor expresión de la teoría de la información, puede decirse que se trata de la teoría de la información cuántica. En una expresión puntual en el seno de lo mejor de la física cuántica y de la cosmología puede hablarse también idóneamente de una física del vacío, la cual ha sido llamada en ocasiones como la cuántica budista; se trata del cruce e implicaciones, en efecto, entre física cuántica y budismo (Smethan, 2010). Dejamos este último tema de lado provisionalmente. La dificultad en este plano radica en que la biosemiótica es, por lo menos en su acepción más generalizada, con la notable excepción de Hoffmeyer, una ciencia que se concentra en los sistemas vivos. La extensión de la biosemiótica a la física, y con ella al universo comporta abrir las puertas a concepciones perfectamente distintas a las predominantes en los últimos 2500 años. Se trata del pansiquismo, el hylozoísmo, el panteísmo o el biocentrismo. En otras palabras, es la idea de que la materia está animada. Son muy pocos los autores que

han sostenido abierta o públicamente una concepción semejante. No obstante, de manera significativa, en el contexto específico de este texto, cabe mencionar lo siguiente: Aristóteles fue defensor del hylozoísmo, y R. Thom así lo reconoce y lo apoyo fuertemente. Por ello, precisamente, su trabajo sobre semiofísica. Hoffmeyer, como ya queda mencionado, sostiene, asimismo, una concepción panteísta. El padre más reciente y acaso el máximo defensor del panteísmo es Spinoza. Kauffman aboga abiertamente por una comprensión pansiquista del mundo y la realidad, precisamente en el texto en el que, acaso no coincidentalmente, más y mejor se pronuncia acerca de las relaciones entre complejidad, cuántica y biosemiótica; el libro ya señalado. En el marco de la filosofía de la ciencia, Auletta (2010) argumenta en favor de una comprensión no mecanicista de los sistemas vivos, y apunta entonces a la teoría de la información, *lattu sensu*. En fin, un estudio y consideración de los entrelazamientos entre estas concepciones se encuentra en (Maldonado, 2018b).

En cualquier caso, con la biosemiótica es perfectamente posible decir que la biología encuentra una nueva base, distante de la explicación fundada en procesos físico-químicos. Sin ambages, emerge ante la mirada sensible toda la dimensión de la complejidad en el sentido preciso de las ciencias de la complejidad. Recabemos con claridad sobre este aspecto: los sistemas vivos no son un material determinado, un conjunto compuesto de combinaciones físico-químicas. Manifiestamente que la vida, es decir, los sistemas vivos, son sistemas físicos y, evidentemente, fenómenos materiales. Afirmar lo contrario sería supino.

El problema estriba en que, propiamente hablando, a la fecha, aún no se sabe con exactitud qué es la materia. Lo mejor del cruce entre la física del plasma, la física de partículas elementales y la física cuántica se combina con la cosmología para establecer qué es la materia. A la fecha, se sabe, positivamente, que el 4% del universo visible es materia conformada por fermiones y bosones. El restante aproximadamente 96% es materia oscura y energía oscura.

Los sistemas vivos no son un material determinado; mucho mejor, son lo que hacen. Es posible expresar de tres maneras diferentes pero equivalentes esto que hacen los sistemas vivos para vivir, así:

- Desde el punto de vista computacional, los sistemas vivos procesan información, y procesan información de manera no-algorítmica. Los sistemas vivos no son una máquina de Turing en cualquier acepción de la palabra.
- Desde el punto de vista biológico, los sistemas vivos

son sistemas metabolizantes, pero con la metabolización, se trata entonces también, necesariamente, de la homeostasis. Spinoza designa a la homeostasis como *conatus*, esto es, como el impulso por afirmarse y vivir, por no perecer y mantenerse en el mundo.

- Desde el punto de vista biosemiótico, los sistemas vivos son semióticos, esto es, códigos vivos. Producen y emite incesantemente códigos, leen los códigos de su entorno, los decodifican y los interpretan; de la mejor manera como pueden.

Pues bien, quiero sostener expresamente que el espacio, si cabe la expresión, en el que estas tres maneras confluyen es en el estudio de la complejidad.

Como cabe apreciar, asistimos a la emergencia, y cruces, de un magnífico panorama intelectual y de investigaciones. Consideremos sus significados y alcances.

#### 4. Significado y alcances de un conjunto de relaciones

Precisemos de manera puntual: los sistemas vivos procesan información de manera diferente a una máquina; asimismo, lo que es equivalente, los sistemas vivos son sistemas vivos de signos. Así, los signos no son un asunto meramente verbal o escrito, sino la forma misma como la vida se despliega en el mundo: lanzando señales, recibiendo señales, interpretando todo tipo de signos y señales. Se trata, manifiestamente, de fenómenos y procesos no racionales ni voluntarios. Cualquier aproximación antropomórfica clásica al respecto se queda bastante coja y resulta innecesaria.

La semiótica, esto es, procesos de semiosis, están presentes desde el origen de la vida, e incluso puede decirse que constituyen el origen mismo de la vida. La casi totalidad de los autores sobre biosemiótica así lo reconocen, y autores de las ciencias de la complejidad coinciden en lo mismo. Existen diversas teorías acerca del origen de la vida, y varias también acerca de la lógica de la vida; es decir, qué hacen los sistemas vivos para vivir. Según parece todas estas diferentes teorías coinciden en un aspecto fundamental: en términos biogeoquímicos, el origen de la vida se halla, muy probablemente en procesos de metabolización –metabolism first-. Esto quiere decir, que la vida genera sus propias condiciones de surgimiento (= pensar en complejidad es diferente a pensar en términos de causalidad), y la vida aparece ya como síntesis, y no como el resultado de procesos acumulativos o composicionales (Kauffman, 1993).

Esta misma idea puede ser comprendida de tres maneras adicionales, así:

- El origen de la vida se halla en procesamientos de información. La comprensión metabólica puede ser traducida o expresada también computacionalmente.
- El origen de la vida se funda en homeostasis. La metabolización puede ser traducida y expresada en términos biológicos. La homeostasis, así, es tanto *conatus* (Spinoza), como protensión hacia nuevos espacios y tiempos (Damasio, 2019).
- La metabolización puede ser traducida y expresada como semiosis. Así, la biosemiótica encuentra todas las condiciones de posibilidad para su emergencia y consolidación.

En verdad, desde este punto de vista, acertadamente el signo, y no las moléculas constituyen el factor crucial en el estudio de los sistemas vivos (Hoffmeyer, 1997). Ya desde su base genética, lo importante no son los genes mismos –los cuales existen, por lo demás en redes y cadenas-, sino los procesos de comunicación existentes entre ellos. Estos procesos son susceptibles de activación e inactivación, por ejemplo, a través de procesos de metilación. Ello orienta la mirada hacia la epigenética; sin embargo, debemos dejarla aquí de lado. Lo importante es que lo determinante son las señales y los procesos informacionales o comunicacionales que suceden a través de instancias como los genes, los péptidos, los aminoácidos, las proteínas, y en fin, en todo el tejido de la vida constituyen y atravesando biomas, ecosistemas, nichos ecológicos, tensiones homeoréticas y homeostáticas, en esa historia fascinante de simbiosis que es la vida en general; no en última instancia, cabe hablar de una ecosemiótica, en toda la línea de la palabra (Mäekivi, Magnus, 2020). La vida, si cabe, es el proceso de comunicación que establece la naturaleza para comunicarse con realidades y posibilidades. Y este proceso no sabe de emisores y receptores; muy por el contrario, se trata de polifonía. En su acepción más incluyente, ésta puede ser dicha como polifonía textual, narrativa, enunciativa, compuesta por ritmos diferentes, tonadas y alturas, tempos y silencios simultáneos o cruzados, melodías dialogantes pero también ocasionalmente monológicas, conformando un proceso de cambio incesante. La calidad de la naturaleza estriba en el cambio, en transformaciones armoniosas. La inteligencia y la sabiduría –distintas pero complementarias-, consisten en la capacidad para leer la fantástica partitura polifónica y saberla interpretar. En esto consiste, sin metáforas, la complejidad del mundo y la naturaleza. Al cabo, la etnomusicología ha puesto de manifiesto que la polifonía no es, en manera alguna, un acontecimiento propiamente occidental, pues se la puede apreciar, como cano plural en muchas otras culturas y épocas.

Es imposible hacer buena ciencia sin una base material. Lo contrario conduce a la pseudo-ciencia y la super-



chería. Esto es ya suficiente conocido por parte de una mente (verdaderamente) educada. En el pasado, esto es, clásicamente, la base material de las ciencias naturales fue la física, mientras que la economía, se dijo, era la ciencia que se ocupaba de las bases materiales para las (explicaciones de las) ciencias sociales y humanas. Este fue el esquema tradicional de la modernidad y hasta mediados del siglo XX.

En el curso de los últimos lustros hemos asistido a una eclosión maravillosa de nuevas ciencias y disciplinas, al mismo tiempo que a una muy interesante confluencia de muchas de ellas (Watson, 2017). La expresión más acabada de estos procesos ha sido el surgimiento y consolidación de grupos de ciencias; por ejemplo, las ciencias cognitivas, las ciencias de la vida, las ciencias de la salud, las ciencias del espacio las ciencias de la tierra, las ciencias de materiales, en fin, las ciencias de la complejidad. Con una doble salvedad, por lo menos de tipo semántico e histórico: de un lado, cuando en el siglo XIX W. Whewell acuñó por primera vez la palabra "científico", no fue para referirse a un teórico o investigador, y ciertamente no uno en una determinada ciencia o disciplina. "Científico" designó a aquel que es capaz de moverse entre ciencias y disciplinas diferentes y capaz, entonces de llevar a cabo conexiones entre ellas. De otra parte, al mismo tiempo, la escisión entre ciencia y filosofía no siempre existió. Ese fue un (mal) invento de Descartes. La *Naturphilosophie* y la *Naturwissenschaft*, notablemente, nada supieron de jerarquías y divisiones entre filosofía y ciencia. Pues bien, los dos temas de este trabajo, biosemiótica y complejidad se sitúan exactamente en esta dúplice longitud de onda. Al fin y al cabo, nadie piensa bien pensando en parcelas, secciones y segmentos. La bibliografía al respecto es ya amplia y creciente.

Nuevas ciencias como síntesis han emergido y están surgiendo. Consiguientemente, nuevos lenguajes, aproximaciones, herramientas y formas de organización del conocimiento, entre otros rasgos conspicuos. Sin embargo, ni es fácil ni gratuito el nacimiento de nuevas disciplinas y ciencias ni tampoco los procesos de acercamiento y síntesis entre ellas. No solamente lo que prima, ampliamente sigue siendo la disciplinarización del conocimiento, y en consecuencia, el análisis y la división de formas de conocimiento.

Un aspecto central pero también transversal del diálogo, posible e inevitable, entre biosemiótica y ciencias de la complejidad consiste en el reconocimiento explícito de que la biología, grosso modo, es la base de las nuevas ciencias. No existe ningún fenómeno o sistema de complejidad mayor que los sistemas vivos. La biología, en ocasiones llamada "nueva biología", hace referencia

a procesos en curso de descubrimiento e innovación, al mismo tiempo conceptual y experimental, que puede ilustrarse en los siguientes rasgos puntuales:

- a) La escisión entre naturaleza y cultura es ficticia: no existe. Este es el mérito grande de la epigenética;
- b) La división clásica entre la perspectiva del desarrollo y la evolutiva desaparece, gracias al surgimiento de, enfoque evo-devo y, más amplia y radicalmente: eco-evo-devo (ecológico, des desarrollo (*development*) y evolutiva (*evolutionary*);
- c) Los estudios sobre eusocialidad (Wilson y Nowak) ponen de manifiesto que la ayuda mutua y la cooperación son la regla, jamás la lucha, la selección o la depredación;
- d) La mejor teoría sobre el origen de la vida es la endosimbiosis; los sistemas vivos son eminentemente simbióticos; en el caso de los seres humanos, hemos llegado a saber que somos holobiontes;
- e) La vida en general es un proceso no-lineal y autorganizado gatillado por procesos informacionales.

En otras palabras, dicho de manera clásica, el tradicional enfoque físico-químico para la explicación acerca del origen y la lógica de la vida resulta innecesario por insuficiente. Por el contrario, se impone el tránsito a un enfoque informacional; o comunicacional, lo que es equivalente.

Es cierto que algunos de los temas o aspectos que se acaban de mencionar no han sido considerados en detalle en este artículo. (Por ejemplo, la endosimbiosis (Margulis, Sagan, 2003), el enfoque evo-devo (Carroll, 2006) y la epigenética (Jablonka, Lamb, 2005; Moore, 2017)). No obstante, debe ser evidente que nuevas luces aparecen sobre el más apasionante de todos los fenómenos: el estudio de la vida, y de lo que hacen los sistemas vivos para ser tales. El vector, si cabe la palabra, conduce a comprensiones alta y crecientemente contratintuitivas; particularmente cuando se las mira con los ojos del pasado o de la ciencia normal (Th. Kuhn). Expresado en el marco de la física, la información permite comprender más y mejor lo que explicaban antes la energía y la materia (masa). A. Wheeler lo sintetizó en la fórmula, ya hoy muy conocida: *it from bit, from qubit* (Halpern, 2018).

Un sistema complejo es un sistema no-lineal. Pues bien, bien entendida la no-linealidad significa exactamente que los fenómenos de complejidad creciente ganan información; aun cuando no necesariamente ello implique ganar memoria. Los sistemas lineales no ganan, en absoluto, información. Poseen una determinada

información y sólo pueden perderla. Por contrario, un sistema que gana información se dice que es no-lineal. Como se aprecia, diversas líneas de estudio y reflexión confluyen en este punto. Este texto trazado varias de estas líneas, que apuntan a consideraciones al mismo tiempo científicas y filosóficas (y no una más que la otra).

## 5. Conclusiones: la biosemiótica es una ciencia de la complejidad

Los sistemas vivos procesan información de forma no-algorítmica. Precisamente por ello, el procesamiento de la información en los sistemas vivos sucede, por ejemplo, de forma paralela, distribuida, no-local, como emergencia, y de otras formas que no son jamás secuenciales, centralizadas ni jerárquicas. Pues bien, concomitantemente, la semiosis no sucede de forma algorítmica, en absoluto. Existe, así, una conjunción perfecta entre hipercomputación biológica y biosemiótica.

Podemos señalar que existen dos vertientes recientes, mucho más allá de los cimientos sentados por Shannon y Weaver, principales en la teoría de la información. Una es la teoría cuántica de la información; la otra, la biosemiótica. Información, signos, comunicación, señales – diferentes nombres para designar realidades no materiales, y mucho más que estados, procesos. La información sólo existe como proceso; como estado sólo existen los datos, a los cuales le suceden muchas cosas; por ejemplo, minería de datos, procesamiento, *scraping*, y muchos más. Este rasgo de la información coincide, plano por plano, con la semiosis. Los sistemas vivos son tales justamente porque no saben de estabilidad, equilibrio o permanencia, sino de cambios, procesamientos, aprendizaje y adaptación, por ejemplo.

Ya desde el primer peldaño de la semiosis, si se puede decir así, el código genético queda establecido que: 1) es un código real, 2) fue el primero de una larga serie de códigos orgánicos que dieron lugar a la historia de la vida en el planeta. Desde entonces, la heurística de la biosemiótica se sugiere amplia, muy rica y ubicua; y jamás monofónica o monocromática.

Indudablemente, la vida se basa en semiosis; esto es, en signos y códigos, y en los concomitantes sistemas de lectura e interpretación. La teoría de la evolución, que es, dicho por el propio Darwin, una teoría esencialmente incompleta, logra complementarse con la ayuda de la biosemiótica; como, por lo demás, ya lo había hecho mediante el concepto de auto-organización. La idea misma de códigos de señales o signos comporta la idea de horizontalidad, cooperación y co-evolución; esto es,

todo lo contrario a lucha y simple selección, natural o cultural o cualquier otra. Más exacta y radicalmente, la vida es un tejido de signos y mensajes, que ni se reducen a los esquemas antropocéntricos, ni tampoco se agotan, en modo alguno, en esquemas culturales humanos.

Debe quedar claro que la naturaleza habla en numerosos lenguajes, y nunca en uno solo. Un antecedente sin igual de esta idea se encuentra ya en Jenófanes: los dioses de los etíopes son chatos y negros, y los de los Tracios, de ojos azules y blancos. La naturaleza habla de hecho, simultáneamente, en una polifonía, unos lenguajes cruzados con otros, unos interrumpiendo o superponiéndose a otros, cruzados, libres, abiertos. La biosemiótica consiste en el estudio de estos sistemas de signos naturales, tanto como las ciencias de la complejidad de su diversidad irreductible y su carácter creciente, que coincide, por lo demás, con la evolución misma – un proceso de especiación o arborización.

La naturaleza habla muchos más lenguajes que los que los seres humanos, culturalmente, creen. Así, la inteligencia humana consiste en aprender los numerosos lenguajes de la naturaleza y sus sistemas de signos y códigos. Una idea de corte eminentemente científico y filosófico a la vez. Sin exageración, la biosemiótica permite, como ninguna otra ciencia o disciplina, captar la riqueza y pluralidad de la naturaleza.

La complejidad es, simple y llanamente, una multiplicidad que no puede de ninguna manera ser reducida a unos cuantos o a unos pocos elementos y cuya estructura y dinámica es abierta, nunca cerrada o asilada; en consecuencia, es eminentemente nodal y, al cabo, un sistema de redes. Los comportamientos de los sistemas complejos tienen diferentes atributos; aquí, cabe destacar específicamente, la autoorganización, la emergencia, la adaptabilidad, la no-linealidad y la imprevisibilidad. Por su parte, la biosemiótica ha sido llamada como una síntesis entre las ciencias naturales, sociales y humanas. Paralelamente, es preciso decir que cuando se piensa en complejidad se habla mucho más y muy distinto a simplemente inter, trans o multidisciplinariedad. Dicho sin más, la biosemiótica puede ser considerada, apropiadamente, como una de las ciencias de la complejidad. El tema, así, no es sencillamente de adscripciones o elaboración de conjuntos de conocimientos: se trata de la conjunción para pensar el más fantástico de todos los fenómenos imaginables: la vida; esto es, la vida tal-y-como-es- y la vida tal-y-como-podría-ser-posible. Un horizonte amplio y generoso emerge ante la mirada sensible.

## Bibliografía

- Auletta, G., (2010). *Cognitive Biology. Dealing with Information from Bacteria to Minds*. Oxford: Oxford University Press
- Baluska, F., Mancuso, S., Vokmann, D., (2006). *Communication in plants. Neuronal Aspects of Plant Life*. Springer Verlag
- Barbieri, M., (2009). "A Short History of Biosemiotics", en: *Biosemiotics 2*: 221-245; doi: <https://doi.org/10.1007/s12304-009-9042-8>
- Barbieri, M., (2008). "What is biosemiotics?", en: *Biosemiotics*, 1: 1-3 (Editorial); disponible en: <file:///C:/Users/user/Documents/Papers%20CEM/what%20is%20biosemiotics.pdf>
- Barbieri, M., (2008). "Biosemiotics: a new understanding of life", en: *Naturwissenschaften*, vol.95, págs. 577-599; doi: 10.1007/s00114-008-0363-x
- Barbieri, M., (Ed.), (2007). *Introduction to Biosemiotics. A New Biological Synthesis*. Springer Verlag
- Botkin, D. B., (1990). *Armonías discordantes. Una ecología para el siglo XXI*. Madrid: Acento Editorial
- Brier, S., (2016). "Biosemiotics Antihumanism: Why culture is an extension of biology and a self-organizing system of meaning", en: *Cybernetics and Human Knowing – A journal of second order cybernetics, autopoiesis and cyber-semiotics*, 24(2): 93-97
- Carroll, S. B., (2006). *Endless Forms Most Beautiful. The New Science of Evo Devo*. New York-London: W. W. Norton & Company
- Damasio, A., (2019). *El extraño orden de las cosas. La vida, los sentimientos y la creación de las culturas*. Bogotá: Planeta
- De Waals, F., (2005). *Our Inner Ape. A Leading Primatologist Explains Why We Are the Way We Are*. New York: Riverhead Books
- Favareau, D., (2008). "The evolutionary history of biosemiotics", en: M. Barbieri, (ed.) *Introduction to Biosemiotics*. Springer Verlag
- Gálik, D., (2013). "Biosemiotics: A New Science of Biology?", en: *Filozofia* 68, No. 10, págs. 859-867
- Halpern, P., (2018). *The Quantum Labyrinth. How Richard Feynman and John Wheeler Revolutionized Time and Reality*. New York: Basic Books
- Hoffmeyer, J., (2009). *Biosemiotics: An Examination into the Signs of Life and the Life of Signs*. University of Scranton Press
- Hoffmeyer, J., (1997). *Signs of Meaning in the Universe*. Indiana: Indiana University Press
- Hölldobler, B., y Wilson, E. O., (1996). *Viaje a las hormigas. Una historia de exploración científica*. Barcelona: Crítica-Grijalbo Mondadori
- Jablonka, E., Lamb, M., (2005). *Evolution in Four Dimensions: Genetic, Epigenetic, Behavioral, and Symbolic Variation in the History of Life*. The MIT Press
- Kauffman, S., (2016). *Humanity in a Creative Universe*. Oxford: Oxford University Press
- Kauffman, S., (1993). *The Origins of Order. Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford: Oxford University Press
- Kosoy, M, Kosoy, R., (2018). "Complexity and biosemiotics in evolutionary ecology of zoonotic infectious agents", en: *Evol. Appl.*, abril, 11(4): 394-403; doi: 10.1111/eva.12503
- Kull, K., (2000). "An introduction to phytobiosemiotics: semiotic botany and vegetative signs systems", en: *Sign Systems Studies*, 28: 326-350
- Kull, K., (2009). "Biosemiotics: to know, what life knows", en: *Cybernetics and Human Knowing*, 16(3/4): 81-88
- Landauer, R., (1991). "Information is Physical", en: *Physics Today* 44, 5, 23; doi: <https://doi.org/10-1063/1.881299>
- Mäekivi, N., Magnus, R., (2020). "Ecosemiotics and Zoosemiotic Perspectives", en: *Biosemiotics*, 13 (1-7); doi: <https://doi.org/10.1007/s12304-020-09382-z>
- Maldonado, C. E., (2020). *Teoría de la información y y complejidad. La tercera revolución científica*. Bogotá: Universidad El Bosque-Desde Abajo
- Maldonado, C. E., (2018a) "Biological Hypercomputation and Degrees of Freedom", en: *Complexity in Biological and Physical Systems - Bifurcations, Solitons and Fractals*, R. en: López-Ruiz (Ed.), London, IntechOpen, ISBN 978-1-78923-051-2, pp. 83-93, doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73179>
- Maldonado, C. E., (2018b) "Quantum Physics and Consciousness: A (Strong) Defense of Panpsychism", en: *Trans/from/acao, Edicao especial*, Vol. 41, pp. 101-118, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0101-3173.2018.v41esp.07.p101>
- Maldonado, C. E., Gómez-Cruz, N., (2015) "Biological Hypercomputation: A New Research Problem in Complexity Theory", en: *Complexity*, Vol. 20, Issue 4, págs. 8-18
- Marais, A., Adams, B., Ringsmth, A. K., Ferretti, M., Gruber, J. M., Hendrikx, R., Schuld, M., Smith, S. L., Sinayskiy, I., Krüger, T. P. J., Petruccione, F., and van Grondelle, R., (2018). "The Future of Quantum Biology", en: *Journal of the Royal Society Interface*, 14 de noviembre, vol. 15, issue 148, 20180640; doi: <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0640>
- Margulis, L., Sagan, D., (2003). *Captando genomas. Una teoría sobre el origen de las especies*. Barcelona: Kairós
- Meyers, R. A., (Ed.), (2009). *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Vols. 1-10. Springer Verlag
- Moore, D. S., (2017). *The Developing Genome. An Introduction to Behavioral Epigenetics*. Oxford: Oxford University Press
- Sebeok, T. A., (1994). *Signs: An Introduction to Semiotics*. Toronto: University of Toronto Press
- Sharov, A. A., (1992). "Biosemiotics: Functional-Evolutionary Approach to the Analysis of the Sense of Information", en: Sebeok, T. A., and Umiker-Sebeok, J., (eds.), *Biosemiotics: The Semiotic Web*, New York: Mouton de Gruyter, págs. 345-373
- Smethan, G., (2010). *Quantum Buddhism. Dancing in Emptiness. Reality Revealed at the Interface of Quantum Physics and Buddhist Philosophy*. Lulu.Com
- Solé, R., and Goodwin, B., (2000). *Signs of Life. How Complexity Pervades Biology*. New York: Perseus Books
- Stewart, J., Gapenne, O., & Di Paolo, E. A., (Eds.), (2014). *Enaction : Toward a New Paradigm for Cognitive Science*. A Bradford Book

- Thom, R., (1990). Esbozo de una semiofísica. Física aristotélica y la teoría de la catástrofes. Barcelona: Gedisa
- Varela, F., (2000). El fenómeno de la vida. Santiago de Chile: Dolmen Ediciones
- Varela, F., Thompson, E., Rosch, E., (1992). The Embodied Mind. Massachusetts: The MIT Press
- Watson, P., (2017). Convergencias. El orden subyacente en el corazón de la ciencia. Barcelona: Crítica
- Wheeler, W., (2006). The Whole Creature. Complexity, Biosemiotics and the Evolution of Culture. London: Lawrence & Wishart

# Ciencia, política y problemas complejos

**Leonardo G. Rodríguez Zoya**

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Instituto de Investigaciones Gino Germani  
Universidad de Buenos Aires

leonardo.rodriguez@conicet.gov.ar

Uriburu 950, 6º, Box 1

C1114AAD, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Te. (+54) 9 11 50 01 80 99

---

Recepción: 26/10/2020  
Aceptación: 18/11/2020

## Resumen

El objetivo de este trabajo es proponer y desarrollar el concepto de problemas complejos como herramienta epistemológica y política para repensar el vínculo entre la ciencia y la política, es decir, entre nuestras estrategias de construcción de conocimiento en el mundo y nuestras estrategias de transformación y acción en el mundo. Un problema complejo es una experiencia problematizada que busca ser conocida y transformada porque es evaluada como indeseable. Por tanto, un problema complejo se expresa conjuntamente como problema de conocimiento (dimensión epistémica), como problema de acción y decisión (dimensión pragmática) y como problema ético (dimensión axiológica).

## Palabras clave

problemas complejos, problematización, ciencia, política, futuro

## Abstract

The goal of this paper is to propose and develop the concept of complex problems as an epistemological and political tool to rethink the link between the sciences and politics, that is, between our strategies for knowledge construction in the world and our strategies of transforming and acting in the world. A complex problem is a problematized experience that seeks to be known and transformed because it is evaluated as undesirable. Therefore, a complex problem is jointly expressed as a problem of knowledge (epistemic dimension), as a problem of action and decision (pragmatic dimension) and as an ethical problem (axiological dimension).

## Keywords

complex problems, problematization, science, politics, future

## Biosketch

Leonardo G. Rodríguez Zoya is a full-time researcher at the National Council of Scientific and Technological Research of Argentina. He holds a double PhD in Sociology

at University of Toulouse, France and in Social Sciences at University of Buenos Aires, Argentina. He leads the group of studies on interdisciplinarity and complexity in Social Sciences at the Gino Germani Research Institute of University of Buenos Aires. He is founder and director of the "Community of Complex Thought" (<https://pensamientocomplejo.org/>) and of the "Latin American Publishing Community" (<http://comunidadeditora.org/>) a non-commercial and open access publishing house.

## 1. Introducción

La teoría de la complejidad se ha desarrollado en ciencias y humanidades. La primera se conoce como ciencias de la complejidad, mientras que la segunda se denomina generalmente pensamiento complejo. Estos dos enfoques difieren tanto en sus supuestos epistemológicos y ontológicos, como en sus supuestos éticos y políticos. También se diferencian por el lenguaje que utilizan. Las ciencias de la complejidad utilizan lenguajes formales para modelar y simular sistemas complejos. Mientras que el pensamiento complejo construye sus teorizaciones en lenguaje natural.

Adicionalmente, el concepto de complejidad se ha desarrollado en una diversidad de ciencias, disciplinas y teorías, tales como: ciencias de la complejidad (Maldonado & Gómez Cruz, 2010), pensamiento complejo (Morin, 1990), sistemas complejos (García, 2006), sistemas emergentes (Johnson, 2001), sistemas dinámicos (Waldrop, 1992), sistemas no lineales (Briggs & Peat, 1989), sistemas autoorganizados (Foerster, 1962; Maturana & Varela, 1972), redes complejas (Solé, 2009), estructuras complejas (Prigogine & Nicolis, 1997), entre otros. Sin embargo, pocos esfuerzos se han dirigido a pensar y desarrollar el concepto de problemas complejos como puente articulador de la teoría de la complejidad en ciencias y humanidades.

Además, la historia del pensamiento occidental puede concebirse como la historia de la disyunción entre la ciencia y la política, es decir, la disociación sistemática de los problemas de conocimiento de los problemas de acción, de la razón teórica y la razón práctica. En este marco, el objetivo de este trabajo es proponer y desarrollar el concepto de problemas complejos como estrategia para estimular el surgimiento de una nueva alianza entre las ciencias y la política, entre el conocimiento y la acción.

El trabajo está organizado de la siguiente manera. Primero, analizamos una hipótesis básica sobre la disyunción entre ciencia y política (sección 2). Segundo, hacemos una propuesta teórica: el concepto de problemas

complejos (apartado 3). Para ello, abordamos dos preguntas: ¿Qué es un problema? (sección 3.1) y ¿Qué hace que un problema sea "complejo"? (sección 3.2). En tercer lugar, analizamos los riesgos de una nueva alianza entre ciencia y política (sección 4). En cuarto lugar, se bosquejan algunos desafíos que los problemas complejos plantean al diseño de políticas públicas y políticas científicas (sección 5). Finalmente, concluimos con algunas observaciones sobre los desafíos de los problemas complejos.

## 2. Hipótesis de partida: la disyunción entre ciencia y política

Una gran desalianza recorre la historia del pensamiento Occidental: la desalianza entre las ciencias y la política, entre nuestras estrategias de construcción de conocimiento del mundo y nuestras estrategias de acción y transformación del mundo. Esta intuición puede expresarse en una hipótesis de base: la historia de Occidente puede ser pensada como la historia de la controversia entre la ciencia y la política que ha conducido a la desvinculación de los problemas de conocimiento y los problemas de la acción.

Los antecedentes de esta controversia pueden encontrarse en la antigua Grecia. El *filósofo-rey* es considerado por Platón el mejor gobernante de una comunidad política. La sabiduría filosófica y la virtud política coinciden en un hombre que expresaba la unidad del poder y del saber. Aristóteles invirtió el *dictum* platónico y produjo la escisión entre la vida activa (la política) y la vida contemplativa (la filosofía). El modelo de sabio propuesto por Aristóteles, su *sophós*, es un individuo privado dedicado a la contemplación filosófica que no participa en la dimensión público-política de la vida comunitaria de la *polis*. El filósofo, máxima expresión del conocimiento teórico, es un ser socialmente inactivo que no sabe ni quiere gobernar (Heller, 1998, pp. 258-259). De este modo, el conocimiento teórico, propio de la actividad filosófico-científica, y el conocimiento práctico, específico de la praxis política en la esfera pública, se desarrollan por circuitos diferentes. De un lado la actividad político-social, del otro la actividad filosófica. Quedó establecida así la disyunción entre ciencia y política.

Las concepciones epistemológicas dominantes en Occidente profundizaron la escisión entre conocimiento y acción, entre el saber teórico y la praxis política. El advenimiento de la Modernidad y la invención de la ciencia moderna llevaron a un progresivo aislamiento del conocimiento de su dimensión política. Esta aseveración implica plantear una hipótesis de continuidad entre el sistema de pensamiento antiguo desarrollado por Aristóteles y

el sistema de pensamiento moderno que emerge con la revolución científica que conecta a Galileo con Newton. Tal hipótesis de continuidad es una idea contraintuitiva pues a menudo se argumenta que la revolución científica moderna significó la crisis y derrumbe de la concepción aristotélica de ciencia. En efecto, mientras para Aristóteles el universo se dividía en el mundo lunar (universal y necesario) y el mundo sublunar (singular y contingente); las leyes de la mecánica formuladas por Newton permiten unificar la física terrestre y la física celeste. El mismo conjunto de leyes permite explicar el comportamiento de los cuerpos tanto en el cielo como en la tierra. La concepción aristotélica de ciencia estaba en bancarrota.

Esta innegable ruptura epistemológica entre la ciencia aristotélica y la ciencia newtoniana es concomitante con una marcada continuidad epistémica: la persistencia de la disyunción entre conocimiento y acción. Con todo, puede argumentarse que la controversia entre *vita contemplativa* y *vita activa* de los antiguos es reelaborada en el pensamiento moderno como la disyunción entre *razón teórica* y *razón práctica*. Mientras que la primera se ocupa del conocimiento verdadero del mundo objetivo, a la segunda le concierne decidir en situaciones inciertas.

El primer filósofo que labra esta dicotomía en el corazón de la arquitectura del pensamiento moderno es Descartes quien en el *Discurso del método* propone la metáfora de un caminante perdido en un bosque. Este caminante carece de un conocimiento certero para decidir la mejor estrategia para salir del bosque. Sin embargo, Descartes sugiere que el caminante puede guiarse por reglas de acción práctica, por ejemplo, caminar en línea recta en una dirección fija sin apartarse de ella es una mejor alternativa que caminar sin rumbo, pues al elegir la primera alternativa, aunque haya sido elegida sólo por azar, podría, eventualmente, salir del bosque. Para Descartes, "esta actitud pragmática es aceptable para decidir sobre nuestras acciones en condiciones de incertidumbre, pero ciertamente no sería aceptable en el pensamiento" (Martínez Muñoz, 1999, p. 505), es decir, en el ámbito, de la ciencia y del conocimiento.

Por esta vía, Descartes reafirma el dualismo filosófico fundador del pensamiento occidental estableciendo una escisión en el seno del pensamiento racional: por un lado, hay un modo de pensar y razonar propio de las ciencias y, por el otro, un modo específico para actuar y decidir en el ámbito de la práctica. La implicancia epistemológica de este dualismo filosófico conduce a forjar una concepción de ciencia y de conocimiento desvinculada de la acción y de la decisión. Dicho de otro modo, el fin de la ciencia es el conocimiento no la acción. La

ciencia, como ámbito privilegiado del desarrollo de la razón teórica, se ocupa de construir conocimiento sobre el mundo y en modo alguno de diseñar acciones para intervenir y cambiar el mundo. En la concepción epistemológica dominante en Occidente la ciencia se ocupa del saber, no del poder; e inversamente la política se ocupa del hacer, no del conocer. El divorcio entre conocimiento y acción, entre ciencia y política, conlleva no sólo una razón escindida (razón teórica vs. razón práctica) sino también la desunión entre *saber* y *poder*. El mapa conceptual de la Figura 1 sintetiza gráficamente el conjunto de argumentos precedentes.

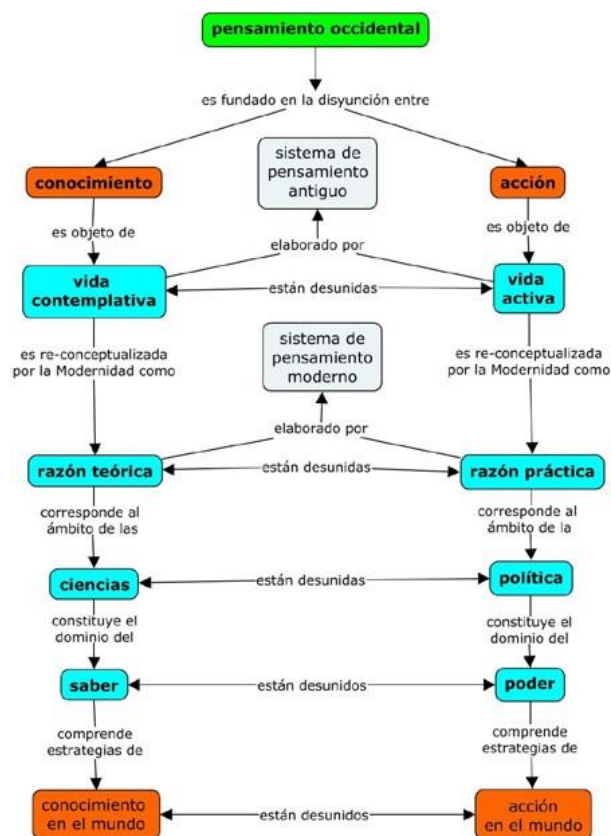


Figura 1. Mapa conceptual sobre la disyunción entre conocimiento y acción

### 3. La propuesta: problemas complejos

Con la finalidad de desarrollar el concepto de problemas complejos, se plantean dos preguntas. Por un lado, ¿qué es un problema? y, por el otro ¿qué hace complejo a un problema?

#### 3.1. ¿Qué es un problema?

En *El nuevo espíritu científico*, publicado en 1934, Gastón Bachelard afirma que "lo simple es siempre lo simplificado; no podría ser pensado correctamente más que en tanto aparece como producto de un proceso de simplificación" (Bachelard, 1985, p.124). Podemos reformular este enunciado

para explicitar nuestra tesis central: *un problema no existe, sólo existe lo problematizado, lo que emerge de un proceso de problematización*. Este enunciado permite pensar epistemológicamente la noción de problema como un concepto de doble entrada: el problema-producto y el problema-proceso y, seguidamente, enlazar ambos en un bucle recursivo (Morin, 1986). Al afirmar que *un problema no existe* se argumenta que un problema no es un dato de la realidad en el sentido en que ningún problema está dado en la experiencia inmediata de modo positivo e independiente de los sujetos que viven, piensan y hablan en el mundo. Por el contrario, un problema es siempre el resultado de un *proceso de problematización* a través del cual se elaboran experiencias y situaciones como problemas (Foucault, 1999). Este desplazamiento del sustantivo *problema* al verbo *problematizar* supone una perspectiva crítica respecto de nuestro lenguaje y estilo de pensamiento. En efecto, en lugar de considerar los problemas como cosas o estados del mundo, la noción de problematización conduce a pensar los problemas como construcciones emergentes que se elaboran a través del pensamiento, el discurso y la acción de los actores sociales. En consecuencia, la problematización alude al proceso social, cultural, epistémico y político a través del cual una situación es constituida como problema.

El razonamiento precedente permite realizar tres observaciones analíticas. La primera observación sugiere que pensar en *problemas* implica situarse en el mundo desde el punto de vista del *actor* que piensa, habla y actúa en el mundo. En efecto, los actores sociales no experimentan el mundo como objetos de conocimiento, variables, relaciones de causa-efecto, etc. Por el contrario, el mundo social es para los actores sociales "su mundo", es decir, la realidad en la que viven, piensan, hablan, hacen, sufren y desean. Los problemas son, ante todo, situaciones que plantean obstáculos y desafíos al proyecto y los fines que persigue un actor cuando actúa. De hecho, esta es una de las acepciones del concepto problema: "conjunto de hechos o circunstancias que dificultan la consecución de algún fin"<sup>1</sup>. En consecuencia, puede argumentarse que actores con fines y proyectos diferentes pueden atribuir diverso grado de importancia a un problema o, incluso, una situación que resulta problemática para un actor A no lo es en absoluto para un actor B. Esta reflexión es crucial para enri-

quecer nuestro concepto de problema pues, como se mostrará más adelante, un problema depende del punto de vista del actor, de sus valores, de sus intereses, de sus proyectos y de sus fines. Si por problema nos referimos a una cosa dada en el mundo empírico independientemente de los sujetos que actúan, hablan, piensan y desean en el mundo, esa noción de problema está en bancarrota.

La segunda observación plantea, en realidad, una conjetura respecto a que en la ciencia contemporánea hay un olvido de los problemas y un predominio de lo que puede llamarse el *fetichismo del método* (Marradi, 2002). Esto es, colocar el instrumento de conocimiento por delante del problema de conocimiento. Para expresarlo en una fórmula sintética: los científicos construyen problemas en función de los métodos que conocen. De este modo, la tendencia en la ciencia actual es fabricar problemas investigables con los métodos y técnicas disponibles. En definitiva, esto es lo que asegura resultados y publicaciones necesarias para sobrevivir en el mercado científico. La primacía del método sobre el problema conduce a la hegemonía de la técnica y del instrumento por sobre el pensamiento crítico y creativo. El correlato de esta tendencia es el desarrollo de investigaciones poco relevantes, la proliferación de discursos científicos autorreferenciales que sólo tienen sentido para la comunidad epistémica que habla el mismo lenguaje, la renuncia a la búsqueda de nuevas preguntas, la construcción de pseudoproblemas tratables por las técnicas conocidas.

Cabe recordar, como señala Alexander Koryé (1999) que las grandes revoluciones científicas fueron siempre revoluciones de pensamiento que se produjeron no tanto por encontrar nuevas respuestas a viejas preguntas, sino por formular preguntas completamente nuevas, como reflexiona Rolando García (2006). Pero cambiar de pregunta es lo más difícil pues implica cambiar el paradigma o punto de partida de un razonamiento (Morin, 1998). El olvido del problema y el fetichismo del método son un síntoma de la crisis paradigmática del pensamiento científico contemporáneo.

La tercera observación busca poner en cuestión una opinión habitual que plantea que los problemas principales de un país o una sociedad están suficientemente claros y que, en lugar de acumular investigaciones, es el momento de la acción. Se argumenta que ya existen suficientes diagnósticos y que, más que continuar reflexionando sobre los

1 Véase Diccionario de la Real Academia Española, <https://dle.rae.es/?id=UELp1NP>



problemas, hay que actuar sobre ellos para solucionarlos. Es relevante detenernos a examinar con más cuidado esta postura. El supuesto en el que se sustenta esta afirmación es que un problema es *una-cosa-en-el-mundo*, es decir, que un problema *está-allí*, en el mundo externo de la realidad objetiva de un modo positivo e independiente de los discursos y prácticas de los actores sociales. Es interesante notar que éste es el modo habitual a través del cual los discursos sociales hablan de los problemas relevantes de una sociedad: el problema de la pobreza, el problema de la distribución del ingreso, el problema del cambio climático, el problema de la delincuencia, el problema de la educación, el problema de la gentrificación, el problema del deterioro de los ecosistemas, el problema de la violencia de género.

¿Qué dice nuestro lenguaje respecto a nuestro modo de pensamiento? Sin duda, existe una relación profunda entre nuestro modo de hablar y nuestro modo de pensar, pues, como decía Vygotsky (1995) *el pensamiento es lenguaje interiorizado*. Nuestro modo de hablar sobre los problemas de una sociedad pone en evidencia una de las dicotomías fundantes del pensamiento moderno, a saber: *la disyunción sujeto-objeto*. Esta dicotomía, piedra fundacional de la filosofía cartesiana, plantea una dualidad entre la *res cogitans* y la *res extensa*. El término *res* en latín significa 'cosa', de modo que ambos términos pueden traducirse como *cosa pensante* y *cosa extensa* respectivamente. La primera designa la mente humana y su actividad principal es el *pensamiento*, mientras que la segunda refiere al *mundo externo* en tanto conjunto de objetos independientes del sujeto. ¿Qué significa esta dualidad? Constituye la creación de un dualismo ontológico que separa dos dominios, el del sujeto y el del objeto. La escisión cartesiana abona, así, la disyunción entre el pensamiento y la realidad como entidades discretas y separadas.

Nuestros discursos, y también nuestro pensamiento, sobre los problemas sociales (cambio climático, pobreza, inseguridad, sequía, urbanización, etc.) continúan siendo profundamente cartesianos. Al hablar de los problemas como *cosas-en-el-mundo* los ubicamos ontológicamente en la *res extensa* como entidades distintas y separadas de nosotros mismos, los sujetos que habitamos el mundo. Los 'problemas' *están-allí*, afuera, en el mundo, mientras que 'nosotros', los sujetos-observadores, los sujetos-de-conocimiento, *estamos-aquí*. Nuestro lenguaje evidencia que nos situamos por afuera de los problemas que queremos conocer e intervenir.

Como buenos cartesianos, nuestro *pensamiento* está separado de la *realidad* que intentamos observar, conocer, describir, explicar y transformar. Así, los problemas forman parte del objeto de conocimiento pero se encuentran desunidos del sujeto-que-habla, del sujeto-que-siente, del sujeto-que-piensa, del sujeto-que-actúa.

El fundador de la sociología científica, Émile Durkheim, decía que la ciencia es un distanciamiento del sentido común, mientras lo propio de éste es no dudar de la realidad social, lo específico de la ciencia social es poner en duda las certezas del sentido común. El concepto de *problemas complejos* busca provocar la duda y la interrogación sobre nuestros modos de pensar, de decir y de hacer cuando lidiamos con aquellas situaciones o fenómenos que denominamos 'problemas'.

### 3.2. Tres vectores para pensar la complejidad de un problema

Habiéndonos ocupado con suficiente detalle del doble vínculo entre el problema y la problematización cabe tratar el segundo interrogante planteado ¿qué es lo que hace 'complejo' a un problema? La pregunta acerca de por qué un problema es complejo resulta crucial desde el punto de vista epistemológico pues concierne a la legitimidad teórica de emplear el adjetivo 'complejo' para calificar al sustantivo 'problema'. Dicho de otro modo, ¿qué agrega el concepto de complejidad que no esté contenido ya en la noción de problema? La complejidad de un problema está ligada a tres vectores principales:

- a) El entrelazamiento de múltiples puntos de vista
- b) El entrelazamiento del conocimiento, la ética y la acción
- c) El entrelazamiento del pasado, el presente y el futuro

#### 3.2.1. El entrelazamiento de múltiples puntos de vista

El primer vector sugiere que un problema complejo es una experiencia en la cual se entrelazan múltiples puntos de vista de actores sociales heterogéneos. Cada actor social explica la situación problemática desde su propio punto de vista, a través del cual pone en juego saberes, valores y relaciones de poder. Por lo tanto, un problema complejo tiene significados diversos para actores distintos. La complejidad de un problema (i.e. el

cambio climático, el ordenamiento territorial, la degradación de un ecosistema) está ligada a la existencia de múltiples puntos de vista de distintos sistemas observadores.

Un problema complejo en tanto objeto de conocimiento y de acción puede ser pensado como un *sistema observado* cuya inteligibilidad depende de nuestra capacidad como analistas para dar cuenta de los diversos *sistemas observadores* que problematizan dicha experiencia. Como puede apreciarse, el concepto de problema complejo escapa al dualismo sujeto-objeto: no es posible reducir un problema complejo a la realidad empírica inmediata ni al plano del discurso, del pensamiento y de la acción de tal o cual actor.

En consecuencia, un problema complejo es un juego social interactivo de múltiples jugadores (Matus, 2007). La complejidad así entendida plantea consecuencias metodológicas específicas. Por un lado, no es posible explicar un problema complejo desde un único punto de vista objetivo, externo y neutral a la realidad considerada. Por otro lado, explicar un problema complejo se asemeja a lo que Carlos Matus conceptualizó como *explicación situacional* según la cual explicar significa “*diferenciar* las explicaciones de los diversos jugadores y *atribuir* correctamente a cada jugador las explicaciones diferenciadas” (Huertas, 2016, p. 33). Dicho de otro modo, una explicación de un problema complejo constituye un meta-punto de vista o meta-sistema que articula diferencialmente las distintas explicaciones y puntos de vista de los múltiples actores sociales involucrados en la situación analizada (Morin, 1986; Rodríguez Zoya, 2017).

### 3.2.2. El entrelazamiento del conocimiento, la ética y la acción

El segundo vector plantea que un problema complejo se expresa simultáneamente como un problema de conocimiento (dimensión epistémica), como un problema de acción y de decisión (dimensión pragmática) y como un problema ético (dimensión axiológica) (Le Moigne, 2010; Rodríguez Zoya, 2017). Un simple ejemplo permite ilustrar esta idea teórica. Cuando nos enfrentamos a un ecosistema degradado (i.e. contaminación por acción de residuos sólidos en un contexto turístico) se plantean conjuntamente dos interrogantes relacionados a, por un lado, ¿cuáles son las causas de la degradación? y, por el otro, ¿cómo podría revertirse la misma? Uno no se aproxima a

un problema complejo con una actitud meramente contemplativa, sino también transformativa. Los problemas complejos nos interpelan en términos epistémicos (queremos conocer algo), en términos éticos (evaluamos que algo es inadecuado o insatisfactorio de acuerdo con cierto marco normativo) y en términos pragmáticos (queremos actuar para transformar esa situación).

En virtud de este razonamiento proponemos conceptualizar los problemas complejos como *situaciones o experiencias problematizadas que buscan ser conocidas y transformadas porque son evaluadas como no deseables*. El conocer (saber), el transformar (hacer) y el evaluar (valorar) son términos interdefinibles, en el cual el sentido de cada término se define por su relación con los restantes.

### 3.2.3. El entrelazamiento del pasado, el presente y el futuro

El tercer vector sostiene que un problema complejo supone el entrelazamiento de múltiples tiempos: el pasado, el presente y el futuro. La interrelación entre estas dimensiones temporales puede ser abordada mediante cinco preguntas metodológicas orientadoras: (i) ¿cuál es la situación problemática que se pretende abordar hoy? (ES) (ii) ¿cuáles son las consecuencias futuras si continúa la tendencia de la situación actual? (TIENDE A SER) (iii) ¿cómo y por qué se ha llegado a la situación actual? (FUE) (iv) ¿cuál es la situación alternativa que se desea construir en el futuro? (DEBER SER) (v) ¿es factible la situación futura deseable? (PUEDE SER)? El punto crucial para destacar es que pensar en términos de problemas complejos implica no sólo la pretensión de explicar el presente sino también, y, sobre todo, de construir el futuro.

En síntesis, el concepto de problemas complejos plantea desafíos para las ciencias y para la política, es decir, para nuestras estrategias de construcción de conocimiento en el mundo y para nuestras estrategias de acción y transformación del mundo. Lidiar con problemas complejos demanda un estilo de pensamiento que pueda: (i) tratar con la incertidumbre generada por juegos sociales creativos de múltiples actores, (ii) pensar la relación interdefinible entre el conocimiento, la acción y la ética y (iii) incorporar el pasado y el futuro como elementos constitutivos del presente. Así, la idea de *problemas complejos* constituye una estrategia conceptual para pensar una nueva alianza entre las ciencias y la política, es decir, para diseñar un vínculo constructivo entre nuestras estrategias de

conocimiento en el mundo y nuestras estrategias de acción y transformación del mundo. Pensar en términos de problemas complejos implica efectuar un desplazamiento epistemológico tendiente a reemplazar la *disyunción* entre conocimiento y acción por un *bucle recursivo* entre conocer y actuar. Sin embargo, esta nueva alianza no está exenta de riesgos que es necesario pensar.

#### 4. Los riesgos de una nueva alianza entre ciencia y política

Pensar en términos de problemas complejos implica diseñar estrategias para 'religar' las ciencias y la política, el conocimiento y la acción, el saber y el poder. Así entendido, el concepto de problemas complejos supone un posicionamiento político-epistémico específico que se distancia críticamente de los tres grandes ideales que han regido la concepción moderna de ciencia: la *objetividad* del conocimiento, la *neutralidad* valorativa de la ciencia y la *universalidad* del conocimiento. Cada uno de estos ideales conducen a un reduccionismo epistemológico: la objetividad conduce a la expulsión de la subjetividad, la neutralidad conduce a la expulsión de la ética y la universalidad conduce a la expulsión de los acontecimientos singulares.

El punto crucial para destacar aquí es que estos ideales forman parte de una cultura científica, es decir, de un sistema de creencias y valores que guían un modo de concebir y hacer ciencia. Más específicamente, resulta pertinente emplear el concepto de *ethos* que etimológicamente significa 'modo de ser' para caracterizar a esta cultura científica. La objetividad, la neutralidad valorativa y la universalidad delimitan los valores de un *ethos científicista*.

El *ethos científicista* consiste en una concepción de ciencia y de conocimiento científico que concibe la práctica científica como una actividad "desinteresada y extra social, que sus enunciados de verdad se sostienen por sí mismos sin apoyarse en afirmaciones filosóficas más generales y que la ciencia representa la única forma legítima de saber" (Wallerstein, 2005, p. 19). El *ethos científicista* delinea una actitud o un modo de ser que se encarna en prácticas, normas, valores y reglas que siguen cuidadosamente los científicos. La actitud científicista define al "investigador que se ha adaptado [al] mercado científico, que renuncia a preocuparse por el significado social de su actividad, desvinculándola de los problemas políticos, y se entrega de lleno a su 'carrera', aceptando para ella las normas y los valores de los grandes centros internacionales, concentrados en un escalafón" (Varsavsky, 1969, p. 39).

Puede decirse que el *ethos científicista* produce una *ciencia políticamente inconsciente*, pues no reflexiona sobre las implicancias políticas del conocimiento que produce, una *ciencia éticamente irresponsable*, pues no incorpora los juicios de valor en sus prácticas científicas, una *ciencia socialmente irrelevante*, pues desvincula sistemáticamente los problemas de conocimiento de los problemas de la acción, una *ciencia epistemológicamente irreflexiva*, pues excluye al sujeto que conoce del conocimiento producido.

El concepto de *problemas complejos* se distancia críticamente del *ethos científicista* y se afirma como una herramienta teórica, metodológica y práctica para construir una ciencia políticamente consciente, éticamente responsable, socialmente relevante y epistemológicamente reflexiva. Ahora bien, hay que reconocer que esta apuesta implica riesgos epistemológicos y políticos.

##### 4.1. Los riesgos epistemológicos

En el plano epistemológico, la crítica a la objetividad, la neutralidad y la universalidad de la ciencia puede conducir a un reduccionismo epistémico invertido:

1. La crítica a la objetividad puede conducir al *relativismo subjetivista*. Mientras que el positivismo puede ser entendido como un reduccionismo por el polo del *objeto* y una anulación de las contribuciones provenientes del *sujeto* de conocimiento; las derivas de las ciencias y epistemologías posmodernas suelen abogar por un reduccionismo por el lado del sujeto que conducen a una primacía del lenguaje y el discurso con un desprecio concomitante por los aspectos objetivos del conocimiento. En las posiciones más extremas, se niega la existencia objetiva de la realidad y del mundo externo.
2. La crítica a la neutralidad valorativa puede conducir al *relativismo ético*. Si la otrora epistemología ortodoxa negaba la pertinencia epistémica de los valores éticos, estéticos y políticos, las nuevas epistemologías posmodernas reivindican los intereses sociales y los valores en la construcción del conocimiento. Todo análisis del conocimiento en términos de aspectos lógicos, cognitivos y racionales 'huele a positivismo' y es profundamente despreciado. A partir de ahora, la tarea de la epistemología es analizar los factores sociales que determinan el conocimiento. Si el positivismo planteaba un reduccionismo logicista, las nuevas epistemologías avanzan en un re-

duccionismo sociológico.

3. La crítica a la universalidad puede conducir al *relativismo contextual*. La tesis de la universalidad de la ciencia implica en el plano sociológico el ocultamiento de la diversidad socio-cultural y en el plano epistemológico la expulsión del 'evento', es decir, los acontecimientos singulares (Morin, 1982). Las ciencias posmodernas abonan un conocimiento fragmentario y un pensamiento disgregador que "yuxtapone lo diverso sin concebir su unidad" (Morin, 1990, p. 30). Así, la filosofía posestructuralista, por ejemplo, abraza teóricamente el acontecimiento -i.e. eventos singulares irreducibles- y se opone a toda comprensión en términos de estructuras y procesos macrosociales. Si el estructural-funcionalismo en ciencias sociales de los años 1940-1950 fue, al amparo del ideal de la universalidad de la ciencia, un reduccionismo holístico que impedía pensar la heterogeneidad y diversidad social; las filosofías posestructuralistas son un reduccionismo por la parte que impiden pensar sistémicamente la globalidad.

Es relevante observar que a cada ideal epistémico del *ethos científicista* subyace una dicotomía: la disyunción objeto | sujeto, la disyunción hechos | valores, la disyunción universal | singular. Mientras el científicismo opera un reduccionismo epistemológico por el polo objeto-hechos-universalidad, las epistemologías posmodernas abonan un reduccionismo invertido por el polo sujeto-valores-particularidad. Ambos *ethos*, científicismo y posmodernismo, constituyen expresiones de un pensamiento simplificador que moldea concepciones reduccionistas de ciencia y de conocimiento.

Una teoría, una metodología y una práctica de los problemas complejos se distancian críticamente tanto del *ethos científicista* como del *ethos posmoderno* y plantea la necesidad de construir una alternativa epistemológica a los reduccionismos epistemológicos. A partir de los desarrollos del pensamiento complejo elaborado por Edgar Morin (1990) es posible plantear una alternativa a los reduccionismos disyuntivos del científicismo y el posmodernismo. La pista para pensar la posibilidad de un *ethos científico complejo* consiste en superar las dicotomías y disyunciones a través de las nociones de *dialógica* y *recursividad*. La *dialógica* nos permite pensar conjuntamente dos nociones complementarias y antagonistas; mientras que la *recursividad* nos permite examinar cómo los pro-

ductos de un proceso influyen en la regeneración de dicho proceso. De este modo, pueden plantearse las siguientes dialógicas y recursividades epistemológicas (Figura 2):

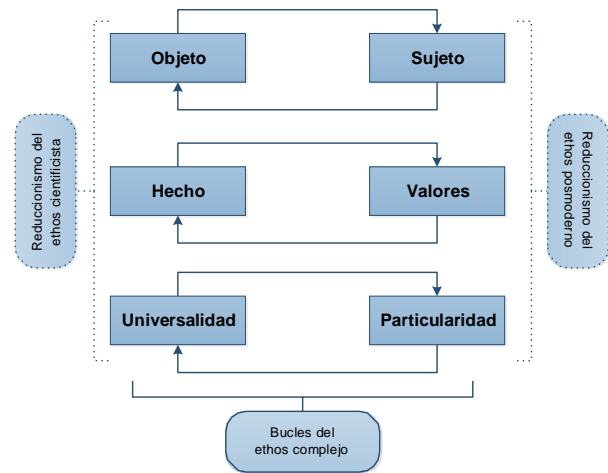


Figura 2. Ethos científico complejo: dialógicas y recursividades epistemológicas

## 4.2. Los riesgos políticos

El *ethos científicista* conduce a la *apoliticidad de la ciencia*. La pretensión de una ciencia axiológicamente neutral no puede, en ningún caso, fundamentar una concepción política de la ciencia. Al eliminar los valores (éticos, estéticos y políticos) de las prácticas científicas, la tesis de la neutralidad valorativa de la ciencia bloquea la pregunta por las finalidades de la racionalidad científica. Preguntarnos por las finalidades es preguntarnos por el futuro y, particularmente, por los futuros deseables y posibles. En efecto, las ciencias de la naturaleza han progresado justamente gracias a la eliminación de las explicaciones teleológicas y las causas finales de su modo de razonamiento, tan característico de la ciencia aristotélica. Sin embargo, como observa críticamente Varsavsky (1982, p. 22) "eliminar el finalismo donde lo esencial es la actividad humana es anticientífico". La acción humana es intencional ya que tiene la estructura de un proyecto que se dirige hacia ciertos fines. Al eliminar las finalidades de la racionalidad científica, el *ethos científicista* reduce la racionalidad a un racionalismo instrumental: la elección de los medios más eficientes para alcanzar un fin. Pero los fines en sí mismos no son objeto de deliberación racional. En un contrapunto crítico con esta posición, Varsavsky señala que "la racionalidad no se limita a la elección de medios -tecnologías- sino ante todo de fines; *qué* viene antes que *cómo*" (Varsavsky, 2013, p. 30).

El *ethos posmoderno* reintroduce de un modo reduccionista el subjetivismo, el relativismo y el particularismo, lo cual crea el terreno fértil para la introducción de la

política en la ciencia. Si el cientificismo conduce a la apoliticidad de la ciencia, el posmodernismo habilita la politización de la ciencia y del conocimiento. Para decirlo poéticamente parafraseamos a Gabriel Celaya en sus versos "La poesía es un arma cargada de futuro". Así también, el científico posmoderno, autodefinido crítico, progresista y de izquierda, se emociona al anunciar que "la ciencia es un arma cargada de futuro". El poeta Celaya canta *maldigo la poesía de quien no toma partido hasta mancharse*. La actitud posmoderna produce investigadores con una profunda prédica emancipatoria, preocupados por el sufrimiento de las grandes mayorías. Junto al poeta, el científico posmoderno canta con vehemencia: *maldigo la ciencia de quien no toma partido hasta mancharse*. La máxima del *ethos posmoderno* consiste en que la ciencia, como actividad social, y el investigador, como sujeto social, deben tomar una postura política e intervenir políticamente en el mundo.

La idea de una *ciencia politizada* se encuentra tempranamente en la obra de Oscar Varsavsky quien, con más rigor que el pensamiento posmoderno y sin abjurar nunca como hace éste de la racionalidad, conceptualiza aquello que en el lenguaje de la época, llamaba 'el científico rebelde o revolucionario':

Hay científicos cuya sensibilidad política los lleva a rechazar el sistema social reinante en nuestro país y en toda Latinoamérica [...] La misión del científico rebelde es estudiar con toda seriedad y usando todas las armas de la ciencia, los problemas del cambio de sistema social, en todas las etapas y en todos sus aspectos, teóricos y prácticos. Esto es hacer 'ciencia politizada' (Varsavsky, 1969, pp. 9-11).

El científico posmoderno de nuestros días estaría de acuerdo con Varsavsky. Para que la ciencia sea un arma cargada de futuro hay que politizar la ciencia. Ciertamente, no se trata de la ciencia positivista la cual es simultáneamente occidental, noratlántica, capitalista, liberal, burguesa y androcéntrica. Por el contrario, la nueva ciencia posmoderna que está edificándose en Nuestra América es crítica, emancipatoria, indígena, campesina, decolonial y feminista y quiere, al igual que Varsavsky "usar la ciencia para ayudar al cambio del sistema" (1969, p. 9).

Podría pensarse que esta politización es en sí misma una ganancia en términos epistemológicos y prácticos pues constituye una superación de la neutralidad y de la apoliticidad del cientificismo. Nuestra posición se distancia críticamente respecto a esta opinión. Para expresarlo claramente y sin rodeos, la búsqueda de una nueva alianza entre las ciencias y la política puede abonar

el llamado a la construcción de una *ciencia y una universidad militante*. La clave epistemológica está en los versos del poeta: "tomar partido". Una ciencia militante implica la partidización política de la ciencia y de la universidad. ¿Cuál es el riesgo político y epistémico de la partidización política de la ciencia y de la universidad?

Para problematizar este riesgo es necesario pensar una distinción que Varsavsky no realiza entre *ciencia politizada* y *ciencia partidizada*. Estos términos no son equivalentes. Quien sí realiza esta distinción es Rolando García<sup>2</sup> en una entrevista sobre la Universidad y los proyectos de país realizada en julio de 2003<sup>3</sup>. García argumenta que todo proyecto de ciencia y de Universidad debe tener en cuenta tres factores: el proyecto de país, el contexto internacional y la ideología. Respecto de este último término García puntualiza que no se trata no de una ideología en términos político-partidarios sino de una concepción sociopolítica de la ciencia y de la Universidad. La ideología conceptualizada en estos términos se asimila a la noción de *concepción del mundo* y, en un sentido más específico, al término de *marco epistémico* desarrollado por la epistemología genética (Piaget & García, 2008).

La reflexión política sobre la ciencia que plantea Rolando García nos permite volver a introducir el problema de las finalidades en el corazón de la racionalidad científica. El problema de las finalidades puede sintetizarse en la pregunta ¿por qué y para qué hacemos ciencia? ¿Por qué y para qué construimos conocimiento? En relación a su experiencia como Decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires entre 1957 y 1966, García afirma "[Nosotros] teníamos una ideología, eso es hacer política, pero no política de partidos, es tener una concepción sociopolítica del mundo sino para qué la ciencia y para qué científicos. [...] Para construir un mundo distinto. Hay

2 Rolando García (1919-2012). Fue un científico argentino, formado en física y matemática y especializado en dinámica de la atmósfera. Luego de formarse en epistemología y filosofía de la ciencia con Rudolf Carnap y Hans Reichenbach, conspicuos representantes del positivismo lógico, trabajó durante casi dos décadas junto a Jean Piaget y contribuyó a desarrollar la epistemología genética. En el plano de la política científica, Rolando García fue el decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires entre 1957 y 1966 cuando fue encarcelado por la Dictadura del General Juan Carlos Onganía durante la Noche de los Bastones Largos. García lideró un proceso de transformación político-institucional sin precedentes que condujo a lo que se conoce como la 'época de oro de la ciencia argentina'. Fue, además, vicepresidente fundador del CONICET bajo la presidencia del Premio Nobel Bernardo Houssay.

3 El fragmento de la entrevista puede encontrarse aquí: <https://youtu.be/uZDpQ5q3k8o>

que hacer política. [...] [Nosotros] hacíamos política, pero no política de partidos. Claro que la concepción era política.”<sup>4</sup>

Con todo, una concepción política de la ciencia y la universidad no es equivalente a la partización política de la ciencia y de la universidad. Politización y partidización son procesos diferentes que implican lógicas y racionalidades distintas. Por un lado, una concepción política del conocimiento implica una *racionalidad* o estilo de pensamiento capaz de deliberar sobre los *finés* de la ciencia, del conocimiento, de la universidad y de la educación. Por otro lado, una partidización política implica una *racionalidad* o estilo de pensamiento *militante e instrumental* que emplaza la ciencia, el conocimiento, la universidad y la educación al servicio de los fines particulares de un movimiento político-partidario específico. Dicho de otro modo, para la racionalidad militante-instrumental la ciencia, el conocimiento, la universidad y la educación son *medios* para alcanzar fines definidos por otros: el movimiento político para el cual se milita. Estos dos tipos de racionalidad tienen consecuencias político-epistémicas bien diferentes, cuyo análisis excede los límites de este trabajo.

En suma, que nos sea permitido concluir mediante la siguiente aserción. La nueva alianza entre ciencia y política que plantea el concepto de *problemas complejos* afirma la pertinencia y necesidad de una concepción política del conocimiento para el diseño de políticas científicas, tecnológicas y educativas. Pero en modo alguno la alianza entre ciencia y política debe interpretarse como un llamado a la partidización política de la ciencia y de la universidad. Este largo decurso argumental no ha tenido otra pretensión más que mostrar que el concepto de problemas complejos propende a una religancia entre el conocimiento y la acción que busca escapar del riesgo de la Escala del *ethos cientificista* y del riesgo de la Caribdis de una *ciencia partidizada*. En ese espacio incierto de posibilidades que emerge entre la apoliticidad neutralista del cientificismo y el dogmatismo irreflexivo de la partidización de la ciencia, se yergue el desafío para desarrollar una teoría, un método y una práctica de los problemas complejos como estrategia que busca *actuar para conocer y conocer para actuar*, pues es en ese bucle donde podemos comenzar a imaginar y construir los futuros deseables.

## 5. Desafíos para las políticas públicas y las políticas científicas

El concepto de problemas complejos plantea desafíos

4 Entrevista a Rolando García, minuto 2:02. Disponible en: <https://youtu.be/uZDpQ5q3k8o>

teóricos y prácticos para pensar el diseño de las políticas públicas en general y de las políticas científicas en particular. A continuación, se plantean algunos ejes problematizadores. Como el lector puede apreciar se emplea un lenguaje normativo a través del término “deber ser” para señalar el contenido posible de estos ejes orientadores del diseño de una política pública. Este juicio axiológico no es una petición de principio sino una implicancia de los argumentos que hemos esgrimido en este documento.

- La tríada investigación ↔ planificación ↔ gobierno. Una política científica de problemas complejos debe ser simultáneamente una política de conocimiento, una política de acción y una política ética, es decir, debe considerar, conjuntamente los problemas de conocimiento, los problemas de gobierno y los problemas axiológicos. En virtud de ello, una política científica no puede restringirse a ser sólo una política de investigación para la construcción de conocimiento. Debe incorporar, necesariamente, la cuestión de la planificación y del gobierno. Mientras que la primera se orienta a la mediación entre el conocimiento y la acción, la segunda consiste en el diseño de estrategias para conducir procesos complejos hacia ciertos fines juzgados como deseables. En conclusión, el concepto de problemas complejos incita a pensar el diseño de una política científica atendiendo a la tríada entre investigación, planificación y gobierno.
- Atender a los procesos de problematización. El punto de partida de una política científica no puede ser el problema-producto, es decir, el problema constituido. Una política tal debe poner el acento en el análisis de los procesos de problematización. De lo que se trata es de examinar los problemas que se consideran dados e inscribirlos en procesos de problematización más amplios.
- El marco epistémico. El diseño de una política científica debe explicitar su marco epistémico, es decir, la concepción sociopolítica de la ciencia y del conocimiento en la que se sustenta. Por lo tanto, una política científica apta para tratar problemas complejos no puede ser diseñada desde el *ethos cientificista* ni desde el *ethos posmoderno*.
- La deliberación sobre los fines. Una política científica de problemas complejos debe considerar mecanismos y dispositivos para deliberar democráticamente sobre los fines, pero de ningún modo imponer dogmáticamente una finalidad político-partidaria. Puesto que un problema complejo implica el diseño de futuros deseables alternativos a la situación ac-

tual, una política científica de este tipo debe concebir procedimientos participativos que faciliten procesos emergentes *bottom-up* para la construcción de modelos de futuros deseables.

- Los puntos de vista. Una política científica de problemas complejos debe ser polifónica, es decir, multi-accentuada. Esto significa que no puede estar fundada en un único punto de vista: ni el punto de vista técnico ni el punto de vista político son suficientes para diseñar, planificar y desarrollar una política de este tipo. Por el contrario, los problemas complejos demandan un enfoque que articule los múltiples puntos de vista de los diferentes actores involucrados.
- La tríada deseable  $\leftrightarrow$  posible  $\leftrightarrow$  probable. Una política científica de problemas complejos debe trabajar conjuntamente sobre tres dimensiones. La dimensión de lo *deseable* implica la construcción de un modelo de futuro sobre la situación alternativa que se busca construir. La noción de futuro deseable es un concepto ético y político. Definir cuál es el futuro que se desea como alternativa al estado actual de un problema complejo implica comprometerse con ciertos *finés* que se desean alcanzar (dimensión política). Ahora bien, para poder elegir entre fines alternativos, es decir, entre futuros distintos, se requieren *juicios de valor* (dimensión ética). Dicho de otro modo, definir qué es un futuro deseable implica explicitar *finalidades y valores*. La dimensión de lo *posible* se orienta a analizar lo que puede y lo que no puede suceder en un sistema considerando su organización actual. El análisis posibilístico de un problema complejo se orienta, pues, a analizar la viabilidad de las estrategias diseñadas para transformarlo. Es por esta razón que los modelos posibilísticos constituyen una herramienta crucial para la planificación y gestión de problemas complejos, el diseño de escenarios prospectivos y el análisis de viabilidad. Finalmente, la dimensión de lo *probable* implica algún tipo de modelo estadístico para calcular la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno y evento.
- La viabilidad de una política. El análisis de viabilidad de una política orientada a investigar, planificar y gobernar problemas complejos debe tomar en cuenta múltiples tipos de factibilidad: la factibilidad económica, la factibilidad técnica, la factibilidad ambiental y, muy especialmente, la factibilidad política y la factibilidad social. En general las políticas fracasan por la poca atención que se le presta a la viabilidad social. Esto quiere decir que una política debe tomar en cuenta el punto de vista de los actores

a quienes se dirige. Cuando se ignora el punto de vista del otro se tiende a menguar la factibilidad social de una política.

- Interdisciplinariedad. Una política científica orientada a investigar, planificar y gobernar problemas complejos requiere de una ciencia horizontal trans-departamental. Una política científica de este tipo no puede fundamentarse únicamente en el saber disciplinario y en los departamentos verticales del conocimiento. Se requiere, además, una práctica interdisciplinaria de la ciencia entendida ésta no como la suma o yuxtaposición de saberes especializados sino como un proceso de diferenciación e integración de conocimientos.
- Democracia cognitiva. Una política científica diseñada exclusivamente desde arriba-hacia-abajo (*top down*) suscita un déficit democrático pues reduce la concepción de tal política al punto de vista del técnico y del político. La dimensión democrática de una política científica está ligada a la construcción de procesos de diálogo y argumentación pública entre actores sociales heterogéneos.
- No dogmatismo y racionalidad abierta. Una política científica de problemas complejos no puede ser dogmática. Esto se opone a cualquier forma de partidización de la ciencia y de la universidad. El carácter no dogmático de una política científica implica que todos sus aspectos deben poder ser sometidos a discusión y enjuiciados críticamente. En definitiva, se trata de regenerar la práctica del pensamiento racional en el proceso de la política científica. Racionalidad en este contexto no quiere decir otra cosa que diálogo y contraposición argumental, es decir, la posibilidad de someter a crítica una aserción y, la necesidad del interlocutor, de esgrimir razones y argumentos para sostener o defender la aserción enjuiciada.

Detrás del concepto de problemas complejos no se encuentra una receta técnica que prescriba qué es lo que se debe hacer y cómo hacerlo. Por el contrario, la noción de problemas complejos es una invitación a pensar y a actuar para ser protagonistas del juego social del que formamos parte. El juego social, en cuyo decurso los actores desarrollan procesos de problematización del mundo, es un juego incierto, no determinístico y de final abierto. El resultado depende de las jugadas de los jugadores. En este punto, debemos recuperar el mayor legado kantiano cuando se pregunta ¿qué es la Ilustración? La Ilustración, dice Kant, es tener el valor de pensar por nosotros mismos. Así, junto a Kant debemos decir que debemos tener el valor de jugar el juego

social de nuestra época. Pensar en términos de problemas complejos es atrevernos a conocer y actuar para imaginar nuevos posibles y apropiarnos creativamente del porvenir.

## 6. Conclusiones

Enfrentar los problemas complejos de nuestro tiempo requiere una nueva alianza entre las ciencias y la política, entre nuestros modos de conocer el mundo y nuestras formas de actuar en el mundo. Sin embargo, la historia de Occidente puede ser pensada como la historia de la controversia entre la ciencia y la política. Esta controversia se ha saldado, en distintos momentos históricos, bien a través de la disyunción entre la ciencia y la política, bien a través de la reducción de una a la otra, ya sea por medio de la subordinación de la política a problemas tecno-científicos, ya sea por medio de la reducción de la ciencia a un instrumento de poder, dominación y control. Esta gran desalianza entre la ciencia y la política ha conducido a la desvinculación de los problemas de conocimiento y los problemas de la acción, a la separación entre la razón teórica y la razón práctica, a la desunión entre ciencia y ética. Esta controversia forja la historia del sistema de pensamiento en el cual estamos atrapados.

Los problemas complejos son difíciles de concebir en el marco de un estilo de pensamiento moldeado al calor de la desalianza entre la ciencia y la política, pues lo específico de aquéllos es expresarse simultáneamente como problemas de conocimiento, como problemas éticos y cómo problemas de acción y decisión. Además, los problemas complejos constituyen sistemas creativos que emergen de un juego social de alta incertidumbre en el que participan una red de actores sociales heterogéneos. Por esta razón, los problemas complejos son sistemas indeterminados en los que no resulta posible predecir su futuro. Esta limitación contrasta con uno de los desafíos principales que nos plantean los problemas complejos: la necesidad de conocer para transformar una situación problemática que es evaluada como no deseable. De este modo, el reto de los problemas complejos es el de diseñar y construir un futuro deseable alternativo.

Mientras que la inquietud por la construcción del futuro es constitutiva de los problemas complejos, la racionalidad científica expulsa el problema del futuro, pues su arquitectura epistémica no está equipada con estrategias para diseñar el porvenir. No hay ni puede haber una ciencia del futuro puesto que el futuro no se conoce ni se descubre. El futuro se imagina y se construye. Esto marca una tensión constitutiva entre la racionalidad científica y la racionalidad política pues, esta última

se expresa, ante todo, como un discurso sobre el futuro basado en la promesa que el mañana sea distinto a hoy. La viabilidad de esta promesa radica, justamente, en la posibilidad de transformar los problemas complejos del presente.

Frente a la pregunta ¿qué tipo de ciencias y de política necesitamos para construir un futuro mejor? Podemos responder diciendo que el desafío es estimular el nacimiento de una ciencia y una política capaz de lidiar con problemas complejos como estrategia de construcción de futuro. Sin embargo, la Universidad, las ciencias y la política están de espaldas a los problemas complejos. La Universidad nos educa en disciplinas verticales del conocimiento científico mientras que lo propio de los problemas complejos es cruzar horizontalmente los departamentos de las universidades. Los problemas complejos no son tratables por los métodos científicos tradicionales ni inteligibles en las fronteras del saber disciplinario. Por otro lado, la práctica política se enfrenta diariamente a problemas complejos pues éstos son los nudos de la vida social y comprometen nuestra vida futura. Sin embargo, la política no dispone de ciencias, de conocimientos ni de métodos para gobernar problemas complejos. Cuando las políticas públicas tratan de apoyarse en los saberes científicos, a menudo recurren a los saberes especializados, pero éstos no pueden dar respuesta a problemas complejos de naturaleza sistémica, interdisciplinaria e incierta. He aquí la triple tragedia de la Universidad, la ciencia y la política en cuyo desencuentro florecen los problemas complejos. Esta tragedia alumbró el desafío que nos interpela: contribuir a repensar nuestro modo de educar en la Universidad, nuestro modo de hacer ciencia y nuestro modo de hacer política como estrategia para el desarrollo de una política de futuro.

## Referencias

- Bachelard, G. (1985). *El nuevo espíritu científico*. Editorial Nueva Imagen.
- Briggs, J., & Peat, D. (1989). *Espejo y reflejo: del caos al orden*. Gedisa.
- Foerster, H. V. (1962). *Principles of self-organization*. Pergamon Press.
- Foucault, M. (1999). *Polémica, política y problematizaciones*. In M. Foucault (Ed.), *Obras esenciales* (pp. 353-361). Paidós.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Gedisa.
- Heller, Á. (1998). *Aristóteles y el mundo antiguo* (2ª ed.). Ediciones Península.
- Huertas, B. F. (2016). *Planificar para Gobernar: El Método PES: entrevista a Carlos Matus*. Fundación CIGOB. Ciencias para Gobernar.



- Johnson, S. (2001). *Sistemas emergentes. O qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software* (2003, 1<sup>o</sup> ed.). Fondo de Cultura Económica.
- Koyré, A. (1999). *Del mundo cerrado al universo infinito*. Siglo XXI.
- Le Moigne, J.-L. (2010). *Agir-penser en complexité. Le discours de la méthode de notre temps* Conférence Grand Débat 2010 du Réseau Intelligence de la Complexité, 1er décembre, Paris.
- Maldonado, C. E., & Gómez Cruz, N. A. (2010). *El Mundo de las Ciencias de la Complejidad. Una investigación sobre qué son, su desarrollo y sus posibilidades*. Universidad del Rosario.
- Marradi, A. (2002). *Método como arte*. Papers, 97, 107-127.
- Martínez Muñoz, S. (1999). *Otto Neurath y la filosofía de la ciencia en el siglo XX*. In A. A. Carreño (Ed.), *Perspectivas teóricas y contemporáneas de las ciencias sociales* (pp. 503-511). UNAM.
- Maturana, H., & Varela, F. (1972). *Autopoietic system*. Facultad de Ciencias.
- Matus, C. (2007). *Teoría del Juego Social*. Universidad Nacional de Lanús.
- Morin, E. (1982). *Ciencia con Conciencia* (1984 ed.). Anthropos.
- Morin, E. (1986). *El Método III. El conocimiento del conocimiento* (1988 ed.). Cátedra.
- Morin, E. (1990). *Introducción al Pensamiento Complejo*. Gedisa.
- Morin, E. (1998). *El Método IV. Las ideas*. Cátedra.
- Piaget, J., & García, R. (2008). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. Siglo XXI.
- Prigogine, I., & Nicolis, G. (1997). *La estructura de lo complejo*. Alianza.
- Rodríguez Zoya, L. (2017). *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*, 7(2), 1-40.
- Solé, R. (2009). *Redes complejas. Del genoma a Internet* (1<sup>o</sup> ed.). Tusquets.
- Varsavsky, O. (1969). *Ciencia, política y cientificismo*. Centro Editor de América Latina.
- Varsavsky, O. (1982). *Obras Escogidas*. Centro Editor de América Latina.
- Varsavsky, O. (2013). *Estilos tecnológicos. Propuestas para la selección de tecnologías bajo racionalidad socialista*. Biblioteca Nacional.
- Vygotski, L. (1995). *Pensamiento y Lenguaje*. Paidós.
- Waldrop, M. M. (1992). *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. Touchstone.
- Wallerstein, I. (2005). *Las incertidumbres del saber*. Gedisa.



# “El Pensamiento Complejo en las Ciencias Sociales: hacia una nueva Organización de la Empresa”

“Complex Thinking in the Social Sciences: towards a new Business Organization”

**Dra. María Nely Vásquez Pérez**

Profesora de la Facultad de Teología del Norte de España,  
Sede de Vitoria. Investigadora Invitada del Instituto de  
Investigaciones Gino Germani, Universidad de Buenos Aires, Argentina

[nelvasper@gmail.com](mailto:nelvasper@gmail.com)

**Dr. Miguel Ramón Viguri Axpe**

Profesor de la Facultad de Ciencias Sociales y Humanas,  
Universidad de Deusto, Bilbao, España.  
Investigador Invitado del Instituto de Investigaciones Gino Germani,  
Universidad de Buenos Aires, Argentina

[mrviguri@deusto.es](mailto:mrviguri@deusto.es)

---

Recepción: 30/10/2020  
Aceptación: 18/11/2020

## Resumen

El nuevo paradigma científico, desarrollado a partir de mediados del siglo XX es el paradigma de la complejidad. Se trataba inicialmente de estudios teóricos para explicar comportamientos sistémicos aparentemente anómalos. Surgió de la matemática y la física. Pero sus principios epistémicos y metodológicos se han aplicado a otros ámbitos como el estudio de los sistemas sociales y las distintas formas de organización social. Entre ellas, destaca su aplicación a la teoría económica y a la organización y administración de empresas. El presente trabajo pretende mostrar resumidamente la influencia que han tenido los conceptos, ideas y principios del pensamiento complejo en una nueva manera de concebir, planificar y gestionar la empresa para concluir con una serie de orientaciones que los teóricos de la economía están aún desarrollando con el fin de orientarse en un contexto de mercados globales y volátiles que generan incertidumbre.

## Abstract

The new scientific paradigm, developed from the middle of the 20th century, is the paradigm of complexity. Initially, these were theoretical studies to explain apparently anomalous systemic behaviors. It emerged from mathematics and physics. But its epistemic and methodological principles have been applied to other areas such as the study of social systems and different forms of social organization. Among them, its application to economic theory and business organization and administration stands out. The present work aims to summarize the influence that the concepts, ideas and

principles of complex thinking have had in a new way of conceiving, planning and managing the company to conclude with a series of orientations that economics theorists are still developing with the in order to orient itself in a context of global and volatile markets that generate uncertainty.

### Palabras clave

Complejidad, sistemas complejos, principios del paradigma de complejidad, organización de empresa, estructura de red, inteligencia de grupo, estrategia empresarial.

### Keywords

Complexity, complex systems, principles of the complexity paradigm, company organization, network structure, group intelligence, business strategy.

## 1. Introducción y justificación: ¿Qué es la complejidad y cuáles son sus principales características?

Al hablar de complejidad se alude a una característica que afecta a cualquier objeto, en tanto en cuanto dicho objeto nunca se nos presenta aislado y con entidad autosuficiente, sino que lo hace inserto en una *red de relaciones recíprocas* y dinámicas que llamamos *sistema*. La complejidad, como característica de los sistemas, hace referencia a la imposibilidad de comprender la naturaleza de las partes del sistema sin hacer alusión al todo en el que se insertan. Dicho de otro modo: hace referencia a la *causalidad descendente* o up to down que el todo -el sistema- ejerce sobre sus partes, que es simultánea a la causalidad *ascendente* que las partes ejercen sobre el todo.

Por poner un ejemplo, los átomos de carbono tienen unas características físicas bien definidas: un determinado número de protones, neutrones, electrones, una determinada masa, una determinada valencia, etc. Pero dichos átomos pueden adquirir propiedades diferentes (por ejemplo, estabilidad y dureza) según la estructura molecular de la que formen parte. El grafito, el diamante y el grafeno, están materialmente hablando, formados por los mismos átomos de carbono. ¿Cómo es posible que sus propiedades sean tan diferentes? Debido al influjo causal que ejerce la estructura molecular sobre dichos átomos. Es decir, que lo que determina las propiedades físicas del diamante no es la cantidad de átomos que tenga, ni las cantidades que definen las propiedades individuales del carbono, sino la *especificidad estructural* de una determinada geometría. Se trata de una cuestión cualitativa, no cuantitativa.

Esto tiene una consecuencia directa: si queremos comprender la naturaleza del diamante, del grafito o del grafeno, no podemos limitarnos a descomponer dichos objetos en sus partículas elementales (los átomos de carbono) y estudiar sus propiedades con la pretensión de que, a partir de ellas, se derivará la comprensión de cualquier compuesto de carbono. Es decir que, a partir del estudio cuantitativo de las propiedades individuales del átomo de carbono, jamás podremos deducir ni inducir las propiedades del grafito, el grafeno o el diamante. Aceptar la complejidad equivale a aceptar el carácter estructural o sistémico de la realidad y, por ello, su *irreductibilidad a lo puramente material o cuantitativo*.

Pues bien, existen en nuestro mundo numerosos problemas, no sólo físico-matemáticos, sino también políticos, sociales, culturales y económicos, que nos afectan a escala global. Se trata de problemas en los que influyen no sólo numerosísimos agentes que interactúan y retroalimentan sus actuaciones recíprocamente, sino que además, dichas interacciones se producen en forma de *red* o sistema.

Podemos citar, como ejemplo claro de esto, la búsqueda de un modelo económico sostenible (formulada de manera concreta en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de Naciones Unidas) que sea capaz de evitar amenazas -ya realidades, por desgracia- como el calentamiento global, los movimientos migratorios masivos y la desigual distribución de la riqueza en el mundo.

La idea central de la teoría de sistemas complejos -que de la interacción de múltiples agentes *emergen* propiedades y fenómenos nuevos que no pueden reducirse a las características de tales agentes- encuentra un dominio obvio de aplicación a nivel social. Por ello, la teoría de los sistemas complejos se presenta de entrada como una posibilidad interesante y valiosa por su poder explicativo formal, que merece la pena considerar en relación a las cuestiones y dificultades con que se enfrentan las ciencias sociales desde un punto de vista metodológico.

Es por ello que los principios del pensamiento sistémico y complejo han encontrado una gran acogida en muchas disciplinas, aparentemente dispares como la ecología (Kauffman 1993), y más recientemente, también a las ciencias sociales; en especial, a la economía (Ormerod 2005), la antropología evolutiva (Axelrod 1984; Boyd y Richerson 2005) y la psicología social (Mosko y Damon 2005).

Para resolver los problemas sistémicos no podemos recurrir a la estrategia analítica de diseccionar el problema en sus partes constituyentes y analizar las propiedades

de cada parte por separado. Porque precisamente lo característico de estos problemas globales o complejos es que su naturaleza no deriva de las propiedades de sus componentes tomados de forma aislada, sino de la forma en la que estos están vinculados entre sí: lo importante es la red de interconexiones y relaciones entre los componentes del problema. Dicha red es lo que hace que de ese problema, entendido como sistema complejo, emerjan comportamientos que *no son previsibles ni comprensibles disciplinariamente*.

Por ello no es extraño que conceptos extraídos de las disciplinas pioneras en el campo de las ciencias de la complejidad, como la física (*atractor extraño, dinámica caótica*), la termodinámica (*estructura disipativa*), las matemáticas (*fractalidad*), o la lógica (*borrosidad, lógicas no-clásicas*), hayan trascendido dichas disciplinas y hayan sido incorporados a la reflexión de las ciencias sociales. Esto es debido a que difícilmente podremos encontrar un objeto más complejo que la propia sociedad humana.

Pues bien, la característica básica común a todos esos fenómenos complejos es la *no-linealidad*. ¿En qué consiste este concepto central?

La no-linealidad, en matemáticas, hace referencia a sistemas cuyo comportamiento no equivale a la suma de los comportamientos individuales de los elementos que los integran. Con los sistemas lineales se puede trabajar con facilidad y establecer predicciones exactas. Con los sistemas no-lineales esto resulta prácticamente imposible, dado que un pequeñísimo cambio en alguna de las variables puede producir un conjunto de interacciones que provoque un resultado completamente dispar.

La no-linealidad conlleva impredecibilidad o, en el mejor de los casos, una posibilidad de predicción meramente estadística. Por eso la complejidad va asociada a la idea de caos y aleatoriedad, azar.

Lo verdaderamente interesante de este enfoque es que no sólo modifica nuestra idea sobre lo que es la ciencia en general, o las distintas ciencias en particular, sino que modifica nuestra idea sobre lo que es la *racionalidad* humana. Sitúa en el centro de la misma la función de construir significados a través de un *diálogo de distintos saberes* que intentan superar sus respectivas jergas específicas para buscar un logos común. Un logos que estará integrado por cosmovisiones, imágenes y valores que son elementos propiamente dinamizados de la búsqueda intelectual y los que dotan a esa búsqueda de un significado que va más allá de lo meramente nocional o teórico para aterrizar en la esfera existencial del sujeto que razona y comparte.

A partir de estas características generales, Edgar Morin establece una diferencia entre complejidad general y complejidad restringida (Le Moigne y Morin 2007). La complejidad general es un enfoque filosófico y epistemológico a los fenómenos emergentes y no lineales. Utiliza un lenguaje natural, aunque de segundo nivel (por su carácter crítico, que reviste aspectos de meta-lenguaje) y entiende la complejidad como un nuevo paradigma (Morin 1981) que permitiría armonizar las ciencias formales y naturales con las ciencias sociales y humanas, dando lugar a una ciencia entendida como nueva alianza interdisciplinar de saberes (Prigogine y Stengers 1979). La complejidad restringida es un enfoque metodológico a dichos fenómenos utilizando lenguajes formales y técnicas computacionales. Este último enfoque se corresponde con los programas de investigación desarrollados a partir de la fundación del Instituto de Santa Fe, en Estados Unidos, en 1984.

Ambas formas de enfoque para el estudio de fenómenos complejos se han aplicado al campo de las ciencias sociales mediante una serie de categorías que posteriormente enumeraremos.

## 2. Metodología

En la introducción se justifica de la importancia del tema procediendo a la identificación de la complejidad en los fenómenos naturales, mostrando, asimismo, la relación de dichos fenómenos con otros análogos en el campo de las ciencias sociales. Como desarrollo se pasará a enumerar una serie de principios o categorías de análisis que se han elaborado en las ciencias que estudian estos fenómenos complejos (básicamente la teoría de sistemas, las ciencias de la complejidad y el pensamiento complejo) y que se han aplicado al análisis de las ciencias sociales. Posteriormente, como debate controversial, estudiaremos el caso concreto de su aplicación en el ámbito de la empresa (especialmente en la organización y gestión de la empresa). El estudio concluirá con algunas características y propuestas de estudio (a modo de líneas abiertas) en referencia a una administración de empresas adaptada a los nuevos cambios sociales de carácter global y a las nuevas herramientas de control y de gestión económica.

## 3. Desarrollo: ¿De qué forma se aplican esas características al estudio de los problemas sociales?

Los principios fundamentales del pensamiento complejo pueden conducirnos a una comprensión de la realidad individual y social mejor problematizada, contextualizada e historizada. Conducen directamente a un esfuerzo por relacionar las diversas dimensiones del conocimiento de

lo humano-social y de lo físico-natural (reconciliando las ciencias sociales y las ciencias naturales). Estos principios llevan también a un método entendido como estrategia. Todo ello está excelentemente expuesto, a partir de un exhaustivo análisis de la propuesta moriniana, por Enrique Luengo en su obra "El conocimiento de lo social" (Luengo 2014). Nos inspiramos en el esquema expositivo de la citada obra para desarrollar muy resumidamente algunos de dichos principios.

### 3.1. Principio sistémico estructurador

En un sistema, el todo no es igual a la suma de las partes. La interrelación de las partes del sistema produce una unidad global con propiedades que no existían en dichas partes tomadas individualmente (Bohm 1997). Por ello se les denomina propiedades emergentes.

Por otro lado, también puede decirse que el todo es menos que la suma de sus partes, porque la estructura del sistema inhibe ciertas propiedades que las partes tendrían individualmente.

Así pues, los sistemas no son cosas, sino patrones o comportamientos estructurales que surgen en la interacción entre el todo y sus partes (Morin 1981). Esas estructuras suelen mantenerse temporalmente incluso dentro del cambio de las partes, aunque de forma fluctuante. Lo que llamamos organización es, por tanto, el producto de la reconfiguración constante del sistema (buscando el equilibrio interno y la adaptación al entorno).

### 3.2. Principio hologramático

Este principio hace referencia a un tipo de organización en la que el todo está presente en la parte que, a su vez, está en el todo; por lo que, a partir de una de las partes del sistema, podrían recuperarse la totalidad de sus propiedades sistémicas.

La realidad social es un sistema que está integrado por nosotros. De tal manera que no existe como un objeto externo o separado de nosotros, sino que nos construye, a la vez que nosotros la construimos.

Por ello, cuando la persona se abre a los otros, en cuanto tales otros, enriquece la humanidad en su conjunto. Elabora un nosotros más enriquecido, transformando la multiculturalidad en una interculturalidad que afecta a su propio proceso de identidad en construcción permanente. Por eso la transformación social es también transformación

personal, al igual que la transformación personal es transformación social.

De ahí que no pueda separarse adecuadamente sujeto de objeto (uno de los presupuestos de la ciencia simplificadora y reduccionista), puesto que el sujeto-observador es parte del objeto-observado-conceptualizado (Gutiérrez 2003), tal y como ya defendía Kant con su archiconocida distinción entre *noúmeno* (la cosa-en-sí, incognoscible) y *fenómeno* (la cosa-en-cuanto-conocida-y-estructurada-por-mí).

### 3.3. Principio dia-léctico, dia-lógico, dia-logal

En la interacción entre sistemas se produce una complementariedad de lógicas y dinámicas complementarias, aunque aparentemente opuestas. Esta complementación se produce incluso bajo la forma de tensión dialéctica. Por ello, la investigación compleja es inter y transdisciplinaria, porque puede relacionar problemas cuyos principios parecen antagónicos, manteniendo una dualidad sin incurrir en un dualismo (Morin 1973).

Esto tiene una implicación muy importante: todo sistema u organización, por su interacción estructural con otros sistemas y consigo mismo, lleva la dialéctica (uni-dualidad) en su seno y ello le fuerza a la constante readaptación; es decir, a la evolución.

La dinámica evolutiva no es desintegradora, sino que utiliza las oposiciones de forma reorganizativa. Lo lógico en la teoría de organizaciones, en ese caso, es abrir el sistema al máximo intercambio con otros sistemas en el medio social. Eso equilibra la reorganización constantemente con una suficiente identidad estructural (aunque también sujeta a cambios, adaptaciones y evolución).

Para una organización resiliente es muy importante entender y percibir los momentos de desequilibrio, antagonismo y cuestionamiento organizacional como un proceso de crecimiento y aprendizaje hacia otros tipos de orden y organización.

### 3.4. Principio de feedback

El feedback va más allá de la interacción dialógica y dialéctica. La recursividad es un proceso que genera una forma o estructura con un cierto elemento de estabilidad o constancia.

Esta idea surge de la cibernética de Norbert Wie-

ner (Wiener 1998) y su formalización de la dinámica de bucle. El bucle es una forma que genera una organización que provoca la interacción de la estructura sistémica consigo misma, reforzando y amplificando sus propiedades (Morin 1981). Esto equivale a entender la recursividad como autoorganización y autoproducción.

En todo organismo (quizá el organismo vivo sea la mejor metáfora para entender la perspectiva sistémica), la muerte y la regeneración son constantes. Las moléculas y las células se disgregan y son reemplazadas por otras. De modo análogo, en las instituciones sociales se produce el desgaste de ciertas estructuras organizativas mientras que surgen otras nuevas que las sustituyen.

### 3.5. Principio de auto-eco-organización

La vida emerge a través del intercambio que desarrollan los seres vivos con su entorno (medio ambiente u otros organismos) para lograr su autoproducción y autoorganización. Cualquier organismo vivo necesita energía y materia exterior para regenerarse y persistir. Su existencia es un equilibrio entre autonomía y dependencia del medio. Por eso dice Edgar Morin que la organización del ser vivo es un auto-eco-organización (Morin 2001).

## 4. Debate: ¿Cómo pueden ayudar los principios del pensamiento complejo a Reimaginar la empresa y su organización?

*Entendiendo que la realidad es movimiento.* La ciencia actual, en especial la biología en todas sus ramas, nos muestra a los sistemas vivos en constante transformación y movimiento, en un esfuerzo por mantenerse en equilibrio, para buscar su reorganización o para transformarse en nuevos sistemas (Bohm 1998).

*Entendiendo que la realidad es no-lineal.* Es necesario superar la causalidad lineal (sin anularla), proponiendo una causalidad en bucle y multirreferencial. Lo cierto es que en la naturaleza sólo existen causalidades de tipo multidimensional que presentan retrocausalidades con propiedades emergentes (Morin 1981). La causalidad lineal sólo se produce en fenómenos tan simples que no resultan relevantes o interesantes para la comprensión de las dinámicas sociales, así como de las organizaciones sistémicas.

*Observando la función constructora del conocedor en todo conocimiento.* La investigación compleja incluye conscientemente al sujeto que estudia en el proceso de estudio. Esto no equivale a incurrir en un subjetivismo re-

lativista, ya que es posible la contrastación interpersonal. *Aceptando y aplicando el principio de incertidumbre.* Si ni siquiera la realidad más simple, como las partículas subatómicas, es situable en un contexto de certidumbre determinística, ¿cómo pretender esa certidumbre para los procesos sociales? Hay que asumir que la realidad social no es previsible sino incierta y, probablemente, indeterminada. Las decisiones de las organizaciones habrán de tomarse en contextos de incertidumbre, mediante modelos de evaluación muy distintos a los basados en la causalidad lineal.

*Aplicando el principio de incompletitud.* No existe ningún sistema formal que sea, a la vez, coherente y completo. La incompletitud de todo sistema formal ocasiona que las explicaciones siempre serán parciales y abiertas. Mejorables. Es un límite de la capacidad racional (Gödel 1931). Lo que Kurt Gödel demostró es que todo lenguaje (incluido el lenguaje en que se expresan las proposiciones científicas), para ser comprendido y utilizado coherentemente, necesita de diversos meta-lenguajes que operan simultáneamente. Esto equivale a la aceptación de la existencia de múltiples lógicas (distintas de las lógicas clásicas o lineales) y meta-lógicas que operan simultáneamente.

*Aceptando la necesidad de diálogo entre los conocimientos especializados.* Este principio se refiere a la urgente y necesaria articulación entre los conocimientos multi, inter y transdisciplinariamente para dar cuenta de la relación entre los ámbitos de la physis, lo biológico, lo antropológico y lo social. No es contrario al principio de análisis defendido por Descartes y que tantos y tan buenos resultados ha ofrecido a la ciencia. Es un principio complementario e integrador que establece una dialéctica entre análisis y síntesis, sin prescindir de ninguno de los polos en tensión (porque genera una tensión creativa) (Whitehead 1967).

*Aceptando la necesidad de diálogo con otros conocimientos.* La complejidad abre el campo del conocimiento a posibilidades nuevas que han sido cerradas por la brecha abierta por el positivismo científico entre la ciencia y la filosofía, la ciencia y las artes, la ciencia y las religiones, etc. (Varsavsky 1982).

## 5. Complejidad y organización de empresa (1). Cambio en los objetivos: De unidad de producción a red de innovación

### 5.1. Ideas fundamentales sobre la organización

Las ciencias actuales (no sólo las de la complejidad) nos revelan la realidad como una trama de

procesos fluidos, complejos, inciertos, en la que nos encontramos implicados creativamente.

Si la realidad es una trama, una red, y (continuando la metáfora) el ser humano un nodo de la misma, se podría entender que las organizaciones son nodos formados por personas que, agrupándose bajo diversas formas, buscan alcanzar determinadas metas sociales y/o económicas.

Optimizar las estructuras en las que se producen las conexiones entre los diversos nodos de la red de esas organizaciones se convierte, por tanto, en el objetivo central de toda estrategia corporativa (Pérez 2001).

## 5.2. Ideas previas simplificadoras que tenemos que revisar

*La racionalidad económica es el máximo beneficio.* El objetivo último de una empresa no es obtener el máximo beneficio en el menor plazo. El objetivo último de una organización es perpetuarse en el tiempo, cumpliendo su misión corporativa cada vez mejor si es posible. Por ello la racionalidad de la empresa no sólo consiste en optimizar la relación medios-ingresos. La racionalidad es mucho más compleja y multidimensional: ha de tener en cuenta cómo se adapta la organización al entorno y cómo crea nodos en que sus fines se encuentran con los fines de otros grupos. Esta racionalidad que busca la supervivencia en el tiempo y la creación de empleo, ha de ser sostenible (económica, social y medioambientalmente) y, para ello, necesita un marco de valores, principios éticos y una cultura humanizadora (Deming 1982).

*La racionalidad del trabajo es reducir costes salariales.* Lo más fácil es reducir costes reduciendo personal. Pero el precio que se paga es la pérdida de conocimiento con cada persona que se va y la desmotivación de los que se quedan. Sin embargo, hay otra forma de racionalizar el trabajo: mediante una orientación a la innovación de productos, servicios, procedimientos, formas organizativas, estilos de dirección... Nuevos planteamientos que hacen posible que los recursos y capacidades se utilicen mejor. Naturalmente que la estrategia de la innovación es un reto humano, porque es donde la persona asume el reto de la transformación y no tanto el sistema en cuanto tal.

*El poder sólo es tal si es central.* Del enfoque economicista clásico hemos heredado la visión de las organizaciones como grandes estructuras regidas

por los principios de jerarquía, centralización de las decisiones y planificación. Frente a esa orientación jerárquica piramidal y rígida surgen nuevas formas de organización basadas en redes de trabajo que se van reestructurando a medida que es necesario. Surge la organización "plana", de dos o tres niveles jerárquicos como mucho, los grupos de trabajo (teamworking) y la organización en red (networking). La metáfora sería la de la organización de una red neuronal, en la que los nodos sólo se conectan sinápticamente cuando el caso lo requiere y se vuelven a desconectar después. Lo cual permite una organización flexible y de bajo consumo de recursos, o sea, más eficiente (Kauffman 1995). Además hay que pasar de entender la jerarquía como poder, a entender la jerarquía como la lógica de las cualidades emergentes, que surgen del interior de la red de trabajo, en la comunicación entre las personas, y no del ejercicio de un poder central.

La visión de la sociedad como un sistema social dotado de sus mecanismos de funcionamiento y de cambio tiene como contrapartida un rechazo de todo análisis y de toda forma de organización social que considere al actor de otro modo que por el lugar que ocupa en la sociedad. Las sociedades occidentales están constantemente agitadas por un conflicto entre una visión a la vez sistémica y utilitarista, de un lado, y la apelación a principios universalistas por otro (Touraine 2005).

## 5.3. La organización desde la perspectiva sistémica y compleja

*Las organizaciones son sistemas abiertos:* Todo sistema está situado dentro de un entorno, ambiente o contexto. El sistema, para sobrevivir, debe mantener una comunicación y una transacción con su entorno.

*Las organizaciones son sistemas complejos:* Están formadas por multitud de agentes independientes e interdependientes con una tendencia a la autoorganización. Las organizaciones complejas, es decir, con una mayor variedad interna tienen una capacidad mayor de generar más y más variadas respuestas a las demandas del entorno (Luhmann 1983)

*Las organizaciones son sistemas dinámicos adaptativos:* Se dice que un sistema es dinámico cuando mantiene una armonía flexible con su entorno próximo a lo largo del tiempo. Y es adaptativo cuando no sólo es influido por el medio ambiente



sino que reacciona y se adapta a él. Es decir, es capaz de modificarse y aprender de la experiencia (Begun 2003).

*Las organizaciones son sistemas autopoieticos y autorreferenciales:* Esto es, que producen y se auto-reproducen a sí mismas. La autopoiesis es la capacidad de un sistema para reproducir sus propios elementos y las interrelaciones que los unen (o sea, su propia organización). La autorreferencia es la capacidad de establecer relaciones internas y diferenciar esas relaciones de aquellas otras que mantiene con su entorno (paradigma comunicativo de la organización).

*Las organizaciones son sistemas auto-eco-organizados:* Las organizaciones son históricamente contingentes (su evolución depende de la adaptación al entorno) y, por ello, están dotadas de un saber y una memoria que están almacenados en los miembros que la componen y que se expresan en sus rutinas. Ahora bien, más que pensar en la organización en sí misma, habría que pensar en un conjunto de organizaciones (poblaciones) con características comunes. En otras palabras, la unidad de análisis no es la organización, sino la población. Esta es la base de un ecosistémico y, por tanto, ecológico y sostenible.

#### 5.4. ¿Cómo dirigir una organización compleja?

*Todos forman parte del problema y de la solución.* En la dirección estratégica de las organizaciones no es posible trabajar en base a la separación sujeto-objeto. Todos, y los altos directivos no son excepción, forman parte de la misma trama organizativa y social, aunque ocupen posiciones distintas. Las organizaciones del tipo "yo pienso, tú ejecutas", por su rigidez estructural, tienen pocas probabilidades de sobrevivir en un medio cambiante que requiere más flexibilidad.

*Una organización está hecha de seres humanos con sus trayectorias individuales y sus sesgos culturales, cognitivos y valorativos.* Un análisis político de la organización nos va a permitir identificar actores, intereses, alianzas, cooperación, tensiones, que generan grados de desorden que pueden terminar en crisis y provocar órbitas corporativas no-lineales (creatividad e innovación).

*Hay que dirigir desde la multidimensionalidad decisoria y no desde la racionalidad económica.* Esto implica asumir que todas las personas que traba-

jan en una empresa, lejos de actuar "racionalmente" guiados por un "pragmatismo económico", lo hacen en base a una serie de marcos de referencia y a una mezcla de pautas heredadas y experimentadas, conocimientos, protocolos, ciertas realidades socialmente construidas (como la imagen de la empresa, los mitos y leyendas corporativos, la narrativa, el valor, la legitimidad, la legalidad, las restricciones normativas), percepciones, intuiciones, necesidades, ambiciones, emociones, presiones, miedos, respetos y expectativas. Esto hace que el entorno no sea interpretado y entendido por todos los integrantes de una organización de la misma manera. Gestionar la pluralidad de lecturas requiere de una habilidad comunicativa por parte de la dirección.

*Entender que los modos organizativos son el resultado de las interacciones de la red de actores con los que mantiene relaciones y no tanto el resultado directo de una voluntad directiva.* El estratega tendrá que conocer esa "configuración en red" para intentar reconfigurarla a fin de lograr un mejor acople de la organización con su entorno. La tarea es no dejar a la empresa aislada en sus finalidades propias e integrarla en los valores más amplios de la sociedad en la que vive. La dirección ha de ejercerse desde la toma e conciencia de cómo funciona el fenómeno que se quiere gestionar y hoy entendemos que funciona en redes sociales.

*Pasar de los sistemas pre-construidos, producto del diseño y la planificación, a los sistemas auto-construidos (autopoieticos) de emergencia espontánea.* Lo que exige entender que los órdenes emergentes no son pre-construidos mediante finalidades impuestas desde fuera de los sistemas y que el futuro no será tanto el resultado de nuestras decisiones racionales como de nuestros actos cotidianos en una especie de genética social.

Para ello, el directivo ha de esforzarse por ayudar a co-evolucionar su organización integrando sus entornos y creando las condiciones y los ambientes adecuados. *Propiciar y encauzar* serían en este contexto palabras más acertadas que *planificar y controlar*.

*Conseguir organizaciones flexibles,* en las que la descentralización, la rotación, la gestión del conocimiento, la visión compartida, un cierto desorden relativo para propiciar la innovación y un grado de participación adecuado sean las principales pautas directivas (Kliksberg 1993).

## 6. Complejidad y organización de empresa (2). Cambio en la estructura: Estructura en red e inteligencia de equipo

### 6.1. Ideas que hay que rescatar, como punto de partida

Pensar la realidad como una trama de procesos fluidos, complejos y (a veces) caóticos. Complejo es "complexus", lo que está tejido junto. Hablamos pues de una trama dinámica configurada por interconexiones energéticas y físicas pero también simbólicas y culturales (redes de conversaciones), unas más explícitas y otras más profundas.

Hablamos de un universo en red y nosotros formamos parte de esa trama. El estratega ha de saber trabajar con seres humanos y, como tales, con actores relacionales, y no con actores racionales. Lo que conduce a una orientación más consensual y cultural. Que sólo es factible a través de la comunicación.

Ver las organizaciones como sistemas complejos organizantes. Para conocer su estado hay que fijarse en los flujos y en las interconexiones, ahí donde surgen las relaciones y las innovaciones. Y a la hora de dirigir las, hay que manejar la inteligencia conectiva para saber generar ambientes flexibles y cauces estratégicos que ayuden a su co-evolución y que generen la innovación, el sentido y la significación adecuados para mejorar su articulación con los demás participantes en su trama relacional consigo mismo y con los demás participantes. Ya que justamente de lo que se trata es de no pensar el mundo como un conjunto de opuestos binarios (y excluyentes).

Si la realidad es una trama, y el hombre un nodo de la misma, la estrategia pasa a ser una forma de tejer, tramar o desentramar esa red en busca de otra configuración más propicia para nuestras metas, necesidades y ambiciones. La Estrategia es la capacidad humana que nos ayuda a articular y reconfigurar nuestra trama de relaciones (personales y profesionales) y así gestionar nuestro tránsito desde una situación dada a otra mejor. Y para ello la comunicación se ofrece como una opción de menor coste energético y de mayor valor añadido que la interacción y sobre todo la confrontación física.

### 6.2. La idea de comunicación clásica que hemos recibido

Es un acto de transmisión de información que se da

a través del contacto entre un emisor y un receptor preestablecidos. Hay un narrador centrado. El emisor se considera activo (persuasivo y retórico) y el receptor pasivo (manipulable y persuadible). Es una transmisión lineal de mensajes. El sentido del mensaje es unívoco y dado por el emisor mediante la oportuna codificación de señales (bits). Se basa en la existencia de códigos compartidos. Lo que se dice es lo que se escucha. Se acepta la posibilidad de error (ruido) y para subsanarlo se incluye la noción de redundancia como reaseguro. Es la comunicación en el mismo sentido en el que la definieron Shannon y Weaver (Shannon y Weaver 1949). Nos sirve para conseguir una alta fiabilidad en la transmisión de la información a distancia.

No es necesariamente estratégica, más bien es una comunicación "ciega", como la bautizó Humberto Eco. No importa lo que se transmita, en el modelo de Shannon lo que importa es que llegue correctamente. No se preocupa por el contexto ni por el significado. Se trata de un modelo lineal, secuencial y meramente lógico que se preocupa de la comunicación entre máquinas (Schramm 1954). No es que el modelo de Shannon no sea eficaz y operativo. El error sería tomar la comunicación entre máquinas como una analogía base para construir un modelo de comunicación entre humanos (que es la comunicación constitutiva de todos los fenómenos sociales, incluida la empresa, su organización, su estructura, su gobierno).

### 6.3. La comunicación desde el paradigma de la complejidad

Es ante todo una capacidad humana que nos ayuda a manejar la propia complejidad del mundo, permite desplegar nuestra potencialidad personal y reconfigurar nuestras relaciones modificando nuestro entorno. Nuestro mundo es social, lo cual quiere decir que vivimos en el lenguaje (Echeverría 1994). Vivimos en y por la comunicación.

Es, por tanto, el espacio del que surgen nuestro pensamiento, nuestro análisis y nuestras opciones y en el que se configura y reconfigura nuestra visión del mundo, pero también nuestra misma trama relacional. Por eso la comunicación es momento de transformación.

La comunicación es también el espacio interactivo, relacional y social de encuentro, hibridación y transformación entre las identidades y alteridades presentes en cada situación. Es el factor decisivo

en la transformación de sociedades multiculturales en sociedades inclusivas e interculturales. La comunicación reconoce y potencia nuestras especificidades a la par que abre nuestra trama social.

Desde la perspectiva de la complejidad, las funciones de emisor y receptor quedan relativizadas, porque no hay un observador equidistante en dicha conversación, que pueda actuar de cronista o narrador objetivo.

La comunicación es una construcción permanente de significados y un proceso también permanente de modificación de contextos. La relación entre interpretación y significación (no una mera decodificación, como en la teoría de Shannon) en función del contexto, modifica la posición de los comunicantes, creando espacios contextuales nuevos que, a su vez, repercuten en nuevas interpretaciones.

Por ello se impone una cautela, ya que el significado captado e interpretado inmediatamente no necesariamente coincide con el significado que se desea expresar y transmitir, dado que el significado varía en función del contexto y de las personas implicadas en la situación de comunicación.

Una condición esencial para la comunicación es la necesidad interpretar las intenciones ajenas. Ello exige empatía, capacidad de ponerse en el lugar del otro y suficiente valoración del otro como para querer hacerlo. Es una acción común con otro. Implica empatía y emocionalidad. Y ello hace que la comunicación, incluso la comunicación como factor estratégico en la organización de la empresa, implique un fundamento ético y una escala de valores humanos compartida, aunque sea a nivel de mínimos.

#### **6.4. ¿Qué nos dicen las ciencias cognitivas sobre la comunicación?**

No preexiste objetivamente un mundo exterior al que los seres humanos puedan acceder directa y objetivamente a través de sus sentidos o mecanismos de percepción, sino que percibimos el mundo a través de la cognición mediatizada por el pensamiento, la cultura y el lenguaje. La mente humana no es, pues, un reflejo de la naturaleza, sino una instancia de construcción de la realidad en el ejercicio de la comunicación (Lewontin 2000).

El pensamiento no se limita al manejo sistemático y mecánico de símbolos abstractos aplicados

al objeto del mundo que intenta reflejar (la metáfora del procesamiento de información por una máquina computadora), sino que forma parte de una estructura global de la conceptualización de la realidad en la que participan simultáneamente todos los mecanismos perceptivos de los seres humanos (Mora 2007).

Además, el pensamiento humano es holístico y no se reduce a módulos de funcionamiento autónomo. No se produce en determinadas áreas del cerebro, desconectadas de otras áreas, sino en la globalidad del funcionamiento neural (y no sólo en el cerebro, sino en la totalidad del sistema neural).

Por ello la comunicación no es meramente una transmisión de contenido lógico, sino un proceso creativo e imaginativo, cuya descripción va más allá del esquema reduccionista propuesto por el neopositivismo (aún dominante en la ciencia).

#### **6.5. Inteligencia de Equipo. "Swarm Intelligence". Redes de aprendizaje e innovación: Inteligencia para la empresa**

Las ciencias de la complejidad, a partir del carácter sistémico y holístico de los sistemas durante la transmisión de información, también han suministrado modelos de comunicación y aprendizaje colaborativo que se han revelado sumamente eficaces para la construcción de significados comunes. Se les llama *Inteligencia de enjambre*, o también podemos llamarlo *Aprendizaje Colaborativo en Red* (Networked Collaborative Learning)

Los humanos parecemos requerir algún tipo de control central para construir algo sensato o servicial. Las termitas, en cambio, fabrican sus ciudades -esos túmulos casi mil veces mayores que su cuerpo- sin necesidad de planos, arquitectos ni jefes de obra: solo con comunicación local. Científicos de Boston han estudiado a las termitas y han logrado unas cuadrillas de pequeños robots que son capaces de edificar estructuras sin ningún control central. La robótica ya posee la inteligencia del enjambre o, al menos, comportamientos similares a dicha inteligencia.

La propiedad básica que los hace enjambres, al igual que ocurre con los sistemas complejos, es su comportamiento de autoorganización; es decir, es el hecho de que una gran cantidad de procesos simples pueden conducir a resultados complejos y que explica muy bien Len Fisher (Fisher 2009 ).

El comportamiento de las hormigas es el ejemplo más conocido de la inteligencia de enjambre. Muchas especies de hormigas tienen un depósito de una sustancia química llamada feromona. Es un medio de señales cuyas principales ventajas son el gran alcance y el evitar obstáculos, puesto que son arrastradas por el aire. Por ello, las hormigas no se comunican directamente entre sí, pero siguen rastros de feromona (dejando a sus propias feromonas, por lo que la pista se ve reforzado). El camino que conecta la fuente de alimento y el nido está optimizado, y además, no tienen ningún tipo de conocimiento global del problema por cualquiera de los agentes.

Este fenómeno está directamente relacionado con la Teoría de Redes. Se han resuelto exitosamente muchos problemas administrativos, por ejemplo de diseño de sistema de transportes, sistemas de información y programación de proyectos, con ayuda de los modelos de redes y con técnicas de análisis de redes.

Entre los adelantos en el campo de la investigación operativa puede decirse que la teoría de redes está entre las que poseen una más amplia variedad de aplicaciones. La estructura de las redes puede ser representada por un gráfico con vértices o nodos y ramas o arcos, correspondientes a las estaciones y enlaces respectivamente (esto es evidente en el caso de las redes de transporte o comunicaciones, pero también en todos los demás tipos).

Otro ejemplo. Los Modelos de Redes de Actividades sirven para planear, programar y controlar proyectos que constan de numerosos trabajos o tareas separadas que son llevadas a cabo por diversos departamentos, personas, etcétera. Con frecuencia, estos proyectos son tan grandes y/o tan complejos que no es posible que un administrador tenga en mente toda la información relativa al plan, al programa y al avance de su proyecto. En estas situaciones, las técnicas de evaluación y revisión basadas en redes, se han mostrado altamente eficaces.

## 6.6. Inteligencia de red aplicada a grupos sociales

Un ejemplo de la inteligencia de enjambre en grupos humanos es cuando existe una gran cantidad de personas que interactúan sin ninguna comunicación directa entre ellos pero se produce una comunicación indirecta a través de algún tipo de entorno (de aprendizaje). Entonces se producen

patrones emergentes de comunicación y colaboración, que no se relacionan ni se deducen de comportamientos individuales.

Uno de los ejemplos más claros de esto es el *filtrado colaborativo*. Se basa en la premisa de que las personas que buscan información deben ser capaz de hacer uso de lo que otros ya han encontrado y evaluado. Los sistemas tradicionales de filtrado colaborativo (Melville y Sindhvani 2010) almacenan las preferencias y las evaluaciones de los usuarios con respecto a varios elementos (de las novelas y canciones, a los recursos de aprendizaje en una clase). Esas preferencias permiten a otros usuarios ver lo que sus compañeros han elegido y utilizar esta información como guía para sus acciones.

En los últimos años, el crecimiento del comercio electrónico ha estimulado el uso de sistemas de filtrado colaborativo para establecer *sistemas de recomendación*. Por lo tanto, el objetivo de un sistema moderno de filtrado colaborativo puede enunciarse como la predicción de la utilidad de un determinado tema para un usuario particular, sobre la base de gustos anteriores del usuario y las opiniones de otros usuarios con gustos similares.

Lo interesante del caso es que esta técnica no es una mera herramienta para tomar decisiones o para influir en las mismas, sino que es un proceso de aprendizaje de la red en cuanto tal. Por ello se habla de Internet como de una *red semántica* (con capacidad de aprendizaje y adaptación).

Otro ejemplo de inteligencia de enjambre en humanos es la *secuenciación adaptativa de colaboración*. La secuenciación de adaptación es uno de los principales retos en la actualidad en el ámbito de la educación basada en la Web o en cursos virtuales a distancia.

El problema consiste en seleccionar el orden en que se presentan un conjunto de unidades para el estudiante (en una secuencia) con el fin de hacer su aprendizaje lo más exitoso posible, teniendo en cuenta las capacidades y necesidades de cada estudiante (personalización).

Estos estudiantes diferentes maximizan su aprendizaje con diferentes secuencias de actividades: algunos se beneficiarán de una secuencia con un enfoque deductivo, mientras que otros prefieren los planteamientos inductivos, y algunos prefieren actividades con una gran cantidad de texto, mientras que otros

aprenden más con los recursos gráficos, etc.

Los estudiantes son obviamente diferentes y prefieren diferentes secuencias de aprendizaje, pero sus preferencias muestran cierto grado de correlación, como en el caso anterior. Así que el problema de la secuenciación es de optimización de la ruta (encontrar el camino que maximiza el aprendizaje) como hacen las técnicas de aprendizaje colectivo.

### 6.7. Futuro del aprendizaje colectivo basado en redes de inteligencia social

En cualquier caso, muchas de las aplicaciones más prometedoras de las técnicas de inteligencia de enjambre se están desarrollando en Internet y proceden del ámbito de aprendizaje por enjambre social. El filtrado colaborativo es un campo activo en algunas aplicaciones comerciales, como el sistema de recomendaciones, mientras que la investigación sobre la secuencia de colaboración puede conducir a una mejor comprensión de la forma en que el usuario navega por la Web.

Aunque el problema de la secuenciación trae similitudes con otros problemas de optimización de ruta, existen diferencias que deben tenerse en cuenta. En primer lugar, el camino tiene que ser optimizado para cada usuario. El camino que es óptimo *para todo el mundo* puede no ser óptimo para *cada* estudiante. Esto es especialmente crítico para los sistemas e-learning. El enfoque adoptado por Mortera-Gutiérrez (Mortera-Gutiérrez 2006) es una mezcla de sistemas tradicionales de filtrado y sistemas de secuenciación de colaboración, dando a los estudiantes información sobre el desempeño de sus colaboradores y las medidas adoptadas por ellos (como grupo, no individualmente). Este enfoque pone al estudiante en un estado metacognitivo cuando se enfrentan con sus compañeros a los resultados o resolución de problemas (Santamaría González 2008).

La verdadera revolución en la organización y administración de empresas sería resolver el problema de cómo aplicar este proceso metacognitivo de aprendizaje generando clusters colaborativos en ciertos sectores, aunque abiertos a un intercambio con nodos de otros sectores diferentes.

## 7. Complejidad y organización de empresa (3): Cambio en la estrategia: Flexibilidad para tomar decisiones en la incertidumbre

Hay varias ideas previas que dificultan la solución a este

problema, obstaculizando la generación de una nueva teoría estratégica para la toma de decisiones organizacionales y empresariales.

### 7.1. Ideas previas sobre la decisión estratégica que es preciso revisar

Estas ideas que dificultan la nueva teoría estratégica operativizan varios supuestos que, aunque han ido evolucionando, mantienen su estructura como conjunto:

*El supuesto de la racionalidad económica*, que implica que las personas sólo actúan racionalmente cuando buscan su máximo beneficio individual y, asimismo, las organizaciones actúan optimizando resultados económicos medibles. Este supuesto se ha expresado de diversas maneras que van, desde la racionalidad económica de los modelos neoclásicos (Adam Smith), a la racionalidad limitada de Herbert Simon, pasando por la racionalidad según Max Weber.

*El supuesto de dirección única y jerárquica*, en el que la dirección actúa jerárquica y piramidalmente, de arriba abajo y en el que las organizaciones actúan monolíticamente, con fines y criterios claros y únicos.

*Un conjunto de supuestos ideológicos* (por tanto no demostrados pero que funcionan como si fueran evidentes). Por ejemplo: sólo es real lo económicamente medible, por lo que hay que olvidar lo social y comunitario, por ser intangible, para establecer posiciones de privilegio desde las que ganar dinero como aspiración máxima de la vida, etc.

*Un pragmatismo en cuanto a los fines*, de tipo funcionalista, unido a un enfoque basado en la linealidad y el equilibrio, tratado con una fuerte base matemática.

*El supuesto de que el medio está fijado*. Un carácter estático que se traduce en un interés prescriptivo, universalista y simplista. Como si la realidad fuese un punto de partida y no de llegada. Como si el mundo que nos rodea no fuese cambiante y en construcción constante, por lo que no podemos ni podremos nunca cosificarlo y normativizarlo de manera definitiva. Olvidando que las formulaciones científicas siempre son hipotéticas, incompletas y han de permanecer abiertas a ulteriores desarrollos.

### 7.2. Críticas al paradigma clásico desde el sentido común

El hecho es que participamos de diversos sesgos que

nos alejan de los comportamientos racionales meramente formales o algorítmicos (es decir, una racionalidad que se aplica unidireccionalmente y en términos unívocos).

Los humanos somos seres sociales y nuestra inteligencia, nuestra capacidad de comprensión, también lo es. Asignamos valores y significados en función de la comunicación con nuestros semejantes. Una sociedad de humanos que se rigieran sólo por razones de ganancia económica, renunciando a la emoción, a la solidaridad o la compasión, sustentada sólo en el cálculo egoísta, resultaría imposible. Las interacciones sociales -incluidos los intercambios de mercado- requieren valores y actitudes éticas, como la confianza, lealtad y sentido del compromiso. La presunción de que los humanos son puramente egoístas, o que la racionalidad es el comportamiento egoísta, es falsa.

Somos seres racionales que elaboran sus decisiones en base a procesos lógicos y también emocionales. Las emociones son el significado de los conceptos (la resonancia emocional o afectiva que una determinada palabra activa en nosotros es su significado o su sentido real para nosotros). Estas distintas resonancias emocionales son lo que nos permite distinguir entre normas morales (no matarás) y normas convencionales (el tenedor se coge con la mano izquierda) (Ovejero 2005).

### 7.3. Las críticas desde dentro del Management

Hoy se habla con tranquilidad de "cultura corporativa", "valor de la imagen", "inteligencia emocional", "conocimiento", "confianza" y otros intangibles. Pero esto no fue siempre así de obvio. Muchos autores de peso realizaron un trabajo enorme para abrir al directivo la posibilidad de trabajar con parámetros cualitativos.

La concepción sistémica de la sociedad y el mercado también es un enfoque cualitativo o estructural (aunque compatible con lo cuantitativo). Surgida en el campo de la biología y la cibernética, provoca un profundo cambio en la forma de entender la organización. Aporta un nuevo modelo epistemológico y abre la organización y sus estrategias al paradigma de la complejidad (Senge 1990), (Parsons 1960), (Nonaka y Takeuchi 1995), (Maturana y Varela 1984).

Pero no sólo vivimos en un mundo de intangibles

cualitativos y de estructuras sistémicas. También evolucionamos, como sociedad, como especie y como individuos. Esta visión históricamente situada pone el énfasis en las posibilidades futuras del ser humano. Es una crítica de algunas exageraciones de la racionalidad moderno-ilustrada, tales como el positivismo, el mecanicismo y el reduccionismo materialista. Incorporan conceptos que proceden de las ciencias sociales. La idea central es que la misma ciencia económica se desarrolla en forma de cultura o subcultura, preñada de valores y actos de evaluación que no se producen de forma meramente mecánica o algorítmica (Mirowski 1989).

Y evolucionamos innovando. Y la innovación no se puede crear mecánicamente, ni es el resultado de la aplicación de ningún método concreto. Las máquinas son lineales. El ser humano, cuando crea, es no-lineal, imaginativo, caótico, imprevisible. Tomar en serio la innovación de la empresa implica crear entornos en los que puedan compartirse ideas de no-linealidad y caos. Ello permite una cierta inestabilidad relativa (que es como surgen las nuevas propiedades y los nuevos estilos y estructuras adaptativas).

Las anteriores críticas al modelo clásico de racionalidad han sido demostradas y fundamentadas por las actuales neurociencias. En la actualidad ninguna estrategia de negocios que pretenda tener éxito puede obviar la investigación científica sobre el funcionamiento de las percepciones, la memoria, la cognición, la emoción, la razón, y los mecanismos que interactúan durante el aprendizaje y toma de decisiones del cliente. Por ello, las neurociencias tendrán una importancia decisiva en todos los aspectos de la vida humana y la configuración social. Y dichas neurociencias son, precisamente, la punta de lanza de las actuales ciencias de la complejidad.

Por otro lado, es notable la falta de una teoría de la estrategia o de la decisión racional en sentido fuerte. Hay múltiples desarrollos teóricos que abordan problemas distintos, pero sin una consistencia teórica unificada. Jules Goddard (Goddard 1997) ponía el dedo en la llaga al denunciar que las ideas sobre la estrategia se han limitado a acumularse, en lugar de materializarse en un sustrato teórico de aceptación general sobre el que construir investigaciones serias.

Por último, es evidente que los escándalos empresariales como WorldCom, Enron, Parmalat, etc.,

etc., están reclamando recuperar la ética empresarial, no ya por mera responsabilidad moral, sino como parte de un modelo estratégico de eficiencia empresarial y de racionalidad en el largo plazo.

#### **7.4. Las críticas desde fuera del Management**

La lógica clásica de la administración de empresas también ha recibido numerosas críticas procedentes de las más variadas (y aparentemente inconexas) áreas de conocimiento, lo que refuerza el valor de dichas críticas.

Para comenzar, el hecho de que la globalización haya cambiado las reglas conforme a las que el sistema socio-económico evoluciona es un hecho nada trivial porque nos sitúa en un marco de alta volatilidad e incertidumbre. Por ello, las soluciones a los problemas económicos -que cada vez son de orden más supraestatal- requieren diversas estrategias locales y globales coordinadas en red desde diversos ámbitos (más allá de los económicos).

Por otro lado, el paradigma económico clásico (la economía de Adam Smith, o más modernamente, la economía positiva de Samuelson) ha entrado en crisis a partir de los cracks bursátiles y los escándalos financieros derivados de malas praxis, pero también de la emergencia de nuevos productos financieros como fruto del carácter global del sistema económico.

Se hace evidente que se necesita manejar otros parámetros además de los económicos (entendidos economicistamente); es decir, introducir lo cualitativo en los análisis micro-meso-macroeconómicos. El positivismo utilitarista, pragmático y funcional se revela como corto de miras y obtuso en las decisiones.

Una de las críticas más radicales y fuertes es, como ya hemos puesto de manifiesto, la de la racionalidad como puro proceso cognitivo. Si se tiene en cuenta la multidimensionalidad de la inteligencia humana, es evidente que se necesita incorporar una interdisciplinariedad en la estrategia, que supere la división entre ciencias *duras* y ciencias *humanas* y sociales. Toda ciencia es humana. La cuestión relevante es si es humanizadora o no. Esto también introduce en la racionalidad científica la cuestión del horizonte político hacia el que se quiere encaminar la investigación y enfoca los problemas a investigar incorporando el factor cul-

tural y, sobre todo, la búsqueda de un modelo de desarrollo sostenible y compartible.

Estas críticas y reflexiones, como se decía, han sido aportadas desde muy diversos ámbitos científicos y epistémicos: las teorías de la acción social (Jurgen Habermas); la antropología cultural (Constantin von Barloewen); la sociología (Hocksbergen, Gidens, Touraine, Castells, Bordieu); la psicología económica (Daniel Kahnemann); la filosofía (Javier Echeverría, Fernando Savater); la ética (Adela Cortina, Javier Darío Restrepo); la sistémica (Maturana y Varela, Luhmann, Serra); La comunicación y la educación (Paulo Freire, Mario Kaplun, Jesús Martín-Barbero, Rosa María Alfaro, Sandra Massoni, Raúl Fuentes Navarro, y el Foro Iberoamericano Sobre Estrategias de Comunicación-FISEC).

#### **7.5. ¿Cómo debiera evolucionar el Management?**

Si la ciencia de administración de empresas atendiera a las críticas reseñadas, internas y externas, la gestión de empresas en general experimentaría una serie de cambios positivos:

Se apoyaría cada vez más en la eficacia de la información, siendo de destacar la aparición de software muy potente, amigable e intuitivo. De modo que la comunicación (hacia afuera y hacia adentro) seguiría adquiriendo importancia en la empresa.

La empresa sería capaz de enfrentarse a un mundo caleidoscópico, y saber actuar sometida a múltiples presiones, limitaciones y controles. Dicha flexibilidad procedería de un enfoque o cultura empresarial más humana y de unos códigos de conducta mucho más éticos -más críticos- que los actuales el management reaccionaría a tales cambios y se haría, asimismo, más humano y más responsable porque aceptaría algo en verdad evidente: que las personas, y sus capacidades intelectuales, serán el activo más valioso de las empresas a todos los niveles de funcionamiento.

#### **8. Conclusiones sobre el pensamiento complejo aplicado a un nuevo modelo de empresa: Nuevos objetivos, nueva estructura y nueva estrategia**

De todo lo planteado y sostenido por autores de indiscutible autoridad en el tema de complejidad y teoría de las organizaciones es posible afirmar que esta cuestión afecta de lleno a los pilares tradicionales de las organizaciones en general y a la empresa en parti-

cular. Podemos resumir los cambios de la introducción del paradigma complejo en el ámbito de la sociedad y el desarrollo empresarial en una serie de conclusiones.

### **8.1. Cambio en el concepto de planificación**

En la planificación, al aumentar de manera enorme la dificultad en la predicción del futuro, a causa del aumento de la incertidumbre y la imposibilidad de conocer con la suficiente anticipación la aparición de estados emergentes, ha llevado a que las organizaciones no planifiquen operaciones a más allá de tres a cuatro años como horizonte para evitar riesgos innecesarios.

En contextos tan impredecibles, la función de "planificación" cambia necesariamente de naturaleza, porque no tiene mucho sentido seguir insistiendo en planes basados en premisas rotundas, objetivos numéricos minuciosos e itinerarios predeterminados que sólo contribuyen a coartar la capacidad de reacción. Además, en este escenario tan incierto resulta cada vez más difícil diagnosticar, y mucho más predecir y planificar como se ha venido haciendo hasta ahora.

### **8.2. Capacidad de reacción: Sistemas Complejos Adaptativos**

Algunos autores proponen el estudio de las empresas considerando dos propiedades fundamentales de los Sistemas Complejos Adaptativos: a) Inestabilidad limitada en la que se afirma la coexistencia de estabilidad e inestabilidad como requisito de la dinámica organizacional y b) Auto-organización espontánea que emerge de las interacciones que se dan entre los componentes del sistema en la estructuración (organización en el lenguaje tradicional), puesto que en el entorno, alta y bruscamente cambiante, se necesita de una estructura mucho más flexible y liviana que la pesada y rígida estructura que se usaba antes.

Se debe indicar que todos los sistemas complejos adaptativos como la empresa comparten las mismas propiedades o características comunes, esto es: auto-organización, no-linealidad, memoria conceptual distribuida, creatividad y capacidad de adaptación.

Se pueden describir como conjuntos de agentes interactivos en base a reglas (por lo general sencillas) que cambian (para adaptarse) en la medida en que el sistema va acumulando experiencia.

La coherencia y persistencia de estos sistemas está en directa relación con las múltiples conexiones y retroalimentaciones entre las partes, de la agregación de elementos y de la capacidad de aprendizaje para la adaptación permanente.

### **8.3. Conexión en red y flexibilidad**

La acción que toma el agente durante un tiempo, está generada por las diferentes estructuras de conocimiento que los agentes que componen el sistema van siguiendo. Los agentes están conectados entre sí mediante bucles de retroalimentación, pero ningún componente individual dicta el comportamiento del sistema total, sino que este emerge de las interacciones entre ellos. Por ello se puede decir que el sistema se auto-organiza. Para ello se hace necesario encontrar estructuras que, al mismo tiempo que integran y cohesionan, sean flexibles para garantizar el cambio que permite la adaptación y la viabilidad en la dirección y el liderazgo.

### **8.4. Base preparada, motivada, empoderada y con iniciativas**

En un entorno altamente cambiante y complejo se requiere que la dotación de potencial humano sea capaz de iniciativa, automotivación, creatividad e innovación; características que el liderazgo del pasado no permitía y que ahora un liderazgo que principalmente oriente y coordine las decisiones y acciones que agentes empoderados llevan adelante, puede facilitar caminos de eficacia y eficiencia que permiten, al mismo tiempo, el aprendizaje y la adaptación.

### **8.5. Cambio en el concepto de control y liderazgo**

También hay modificación en el concepto de control, dado que en un ambiente alta y súbitamente cambiante se requieren correcciones sumamente rápidas, y dicho más exactamente correcciones en tiempo real. Para alcanzar este fin, y ante la falta de seguridad en la predicción para una planificación contable, se hace necesario disponer de algún medio que permita esa corrección inmediata, lo que lleva obligatoriamente a un cambio en la concepción de los mecanismos de control.

### **8.6 Jerarquización colaborativa y multidimensional**

En relación directa con lo dicho y a modo de ejem-



plo, en los últimos tiempos, en opinión de muchos autores, el diseño de las organizaciones está pasando de las estructuras verticales a las colaborativas; prefiriendo estructuras basadas en redes, buscando un equilibrio entre control y aprendizaje, entre jerarquía y red, para lograr o alcanzar una organización flexible, adaptable e inteligente.

La organización empresarial como sistema adaptativo complejo es la antítesis de la organización tradicional. Al ser un sistema caracterizado por la emergencia, la auto-organización y la evolución, implica diseños organizacionales a partir de nuevos paradigmas que consideran la búsqueda de inestabilidad limitada, desarrollo de operaciones en ausencia de controlador central (líder, gerente, coordinador) y de parámetros que restrinjan la acción individual (procedimientos, estándares, protocolos y demás). Se necesitan nuevos conceptos de control más cercanos a los que usan los sistemas vivos y que ya están en desarrollo.

### 8.7. Empresa preparada para la aparición de Estructuras Disipativas

Otro concepto de la complejidad, aplicable a la empresa: Estructura Disipativa. Es una estructura que emerge en un sistema al que se le suministra una cantidad de energía que rompe el equilibrio. Dicha estructura emergente (no planificada) ayuda a redistribuir dicha energía de la forma óptima entre todos los componentes (siempre que entre los componentes exista una conexión en red a todos los niveles).

El requisito de las estructuras disipativas (alejadas del equilibrio) se manifiesta a través de la incesante búsqueda de inestabilidad limitada o, dicho de otra manera, la organización debe evitar tanto el equilibrio como el caos, como condición fundamental para mantener la viabilidad.

### 8.8. Cambio de perspectiva: El equilibrio abierto

El equilibrio ha sido la principal característica de la administración desde la corriente de pensamiento principal (tradicional); sin embargo, al considerar a la organización como ser vivo, la orientación hacia estados estables pierde relevancia. Si se mantiene la organización en un equilibrio estable ello se convierte en serio impedimento para alcanzar creatividad, generar innovaciones y la capacidad de responder a condiciones alta y bruscamente cambiante del entorno.

Esto permite tomar conciencia de un fenómeno que perturba gravemente a las organizaciones, sin que se pueda muchas veces caer en la cuenta acerca de dónde está el origen del problema. Tal como lo plantean muchos autores importantes, la complejidad es una de las más grandes amenazas que afectan a las empresas de este tiempo si no se adecuan a la nueva realidad, tal como lo han expresado Holland (2014), Battram (2001), Morin (2011), Mariotti (2007); por citar los más representativos.

No cabe duda que a partir de ese trabajo conceptual y teórico, se abren nuevos caminos investigativos, no sólo para complementar y potenciar la literatura que ya existe sobre la materia, sino que también generará espacios en los que aplicar estas perspectivas o marcos teóricos a las indagaciones que se realicen en las organizaciones tanto públicas, como privadas y también del tercer sector.

### Bibliografía

- Axelrod, Robert. 1984 *The Evolution of Cooperation*. New York, Basic Books.
- Battram, Arthur. 2001 *Navegar por la complejidad. Guía básica sobre la teoría de la complejidad en la empresa y la gestión*. Buenos Aires, Granica.
- Begun (y otros). 2003 "Health care organizations as complex adaptive systems", en Mick, Stephen y Wittenbach, Mindy (eds.), *Advances in Health Care Organization Theory*. San Francisco, Jossey-Bass. 253-288.
- Bohm, David 1997 *Sobre el diálogo*. Barcelona, Kairós. 1997 *Sobre el diálogo*. Barcelona, Kairós.
- 1998 *La totalidad y el orden implicado*. Barcelona, Kairós.
- Boyd, Robert (y Richerson, Peter). 2005 *The origin and evolution of cultures*. New York, Oxford University Press.
- Deming, Edwards. 1982 *Out of Crisis*. Cambridge, Mass, MIT Center for Advanced Engineering Study.
- Echeverría, Rafael. 1994 *Ontología del lenguaje*. Santiago de Chile, Dolmen.
- Fisher, Len . 2009 *The perfect swarm. The science of complexity in everyday life*. New York, Basic Books.
- Gödel, Kurt . (1931). "Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme, I". *Monatshefte für Mathematik und Physik* (38): 173-198
- Goddard, Jules. 1997 "The architecture of core competente", *Business Strategy Review*, nº 8 (1): 43-52.
- Gutiérrez, Alfredo. 2003 *La Promesa I: Edgar Morin, conocimiento e interdisciplina*. México, Universidad Iberoamericana.
- Holland, John. 2014 *Complexity: a very short introduction*. Oxford, Oxford University Press.
- Kauffman, Stuart. 1993 *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. New York, Oxford University Press.

- 1995 *At Home in the Universe. The search for laws of self-organization and complexity*. Nueva York, Oxford University Press.
- Kliksberg, Bernardo (Ed.). 1993 *Pobreza. Un tema impostergable. Nuevas respuestas a nivel mundial*. Caracas, FCE (Fondo de Cultura Económica), CLAD (Centro Latinoamericano de Administración para el Desarrollo), PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo).
- Le Moigne, Jean-Louis (y Morin, Edgar). 2007 *Intelligence de la complexité. Épistémologie et pragmatique*. París, Éditions de l'Aube.
- Lewontin, Richard. 2000 *Genes, organismo y ambiente*. Barcelona, Gedisa.
- Luengo, Enrique . 2014 *El Conocimiento de lo Social. I. Principios para pensar su complejidad*. Guadalajara (México), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).
- Luhmann, Niklas . 1983 *Fin y racionalidad en los sistemas*. Madrid, Editora Nacional.
- Mariotti, Humberto. 2007 "Complexidade e pensamento complexo: breve introdução e desafios actuais", *Revista Portuguesa de Clínica Geral*, nº 23: 727-731.
- Maturana, Humberto (y Varela, Francisco). 1984 *El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del conocimiento humano*. Santiago de Chile, Universitaria.
- Melville, Prem (y Sindhvani, Vikas). 2010 "Recommender Systems", en Claude Sammut (y Geoffrey Webb) (eds.), *Encyclopedia of Machine Learning*, Springer.
- Mirowski, Philip. 1989 *More Heat than Light: Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Mora Teruel, Francisco. 2007 "Neocultura. ¿Una nueva cultura?", *Revista de Libros* (Revista electrónica). Extraído de <https://www.revistadelibros.com/articulos/la-neurociencia-y-sus-aplicaciones-futuras> Fuente consultada el 20/10/2020.
- Morin, Edgar. 1973 *Diario de California*. Madrid, Fundamentos.
- 1981 *El Método I. La naturaleza de la naturaleza*. Madrid, Cátedra.
- 2001 *El Método V. La humanidad de la humanidad*. Madrid, Cátedra.
- 2011 *La vía para el futuro de la humanidad*. Barcelona, Paidós.
- Mortera-Gutiérrez, Fernando. 2006 "Faculty best practices using blended learning in e-learning and face-to-face instruction", *International Journal on E Learning*, Vol 5, nº3, 313-337.
- Mosko, Mark (y Damon, Frederick) (eds.). 2005 *On the Order of Chaos. Social Anthropology and the Science of Chaos*. New York, Berghahn Books.
- Nonaka, Ikujiro (y Takeuchi, Hirotaka). 1995 *The Knowledge-Creating Company: how Japanese companies create the dynamics of innovation*. Nueva York, Oxford University Press.
- Ormerod, Paul. 2005 "The Impact of Sure Start", *The Political Quarterly*, nº 76 (4): 565-567.
- Ovejero, Félix. 2005 "El poder y las razones: el territorio de la política", *Revista de Libros*, nº 103-104: 19-24.
- Parsons, Talcott. 1960 *Structure and Process in Modern Societies*. Nueva York, Free Press.
- Pérez, Alberto. 2001 *Estrategias de comunicación*. Barcelona, Ariel.
- Prigogine, Ilya (y Stengers, Isabelle). 1979 *La nouvelle alliance. Métamorphose de la science*. París, Gallimard.
- Santamaría González, Fernando. 2008 "Posibilidades pedagógicas: Redes sociales y comunidades educativas", *Telos: Cuadernos de comunicación e innovación*, nº 76: 99-109
- Schramm, Wilbur. 1954 *Process and Effects of Mass Communication*. Urbana, University of Illinois Press.
- Senge, Peter. 1990 *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. Nueva York, Doubleday.
- Shannon, Claude (y Weaver, Warren). 1949 *The mathematical Theory of Communication*. Urbana, University of Illinois Press.
- Touraine, Alain. 2005 *Un Nuevo paradigma. Para comprender el mundo de hoy*. Barcelona, Paidós.
- Varsavsky, Oscar. 1982 "Ideas básicas para una filosofía constructiva", en Oscar Varsavsky (ed.), *Obras escogidas*. Buenos Aires, Centro Editor de América Latina.
- Whitehead, Alfred North. 1967 *Science and the Modern World. Lowell Lectures 1925*. New York, The Free Press.
- Wiener, Norbert. 1998 *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*. Barcelona, Tusquets.

# América Latina, complejidad e interdisciplina, en búsqueda de modelos y programas públicos alternativos. Caso México.

**Eligio Cruz Leandro**

Académico del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Correo electrónico: [eligiocruz@live.com.mx](mailto:eligiocruz@live.com.mx)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0538-3894>

---

Recepción: 27/10/2020  
Aceptación: 18/11/2020

## Resumen

América Latina y el Caribe es la región más desigual del mundo, producto de muchos años del modelo neoliberal, impuesto desde los países industrializados, donde gran parte de la población se ha exiliado y sobrevive informalmente en la periferia. En la mayoría de los países de esta región se observa una auto-similaridad, que incluso podría denominarse fractalidad socioeconómica.

A pesar de las adversidades, la resistencia, la robustez y redundancia de este sistema complejo y los intentos de desestabilización de las oligarquías locales, aliadas a las potencias internacionales, lideradas por Estados Unidos, se han logrado importantes logros en materia de crecimiento económico, la reducción de la desigualdad, el reconocimiento de derechos sociales, el mejoramiento de los sistemas educativos y sanitarios.

Sin embargo, los gobiernos de izquierda o progresistas no han logrado hacer sostenible esta serie de logros, entre otros factores, por la falta de modelos y programas alternativos, apoyados en proyectos pertinentes y factibles, acordes a la realidad de cada país.

Las universidades y centros de investigación tienen la oportunidad de colaborar en el diseño de propuestas, programas y proyectos basados en estudios que aborden los problemas reales que afligen a sus respectivas sociedades, con una vinculación efectiva, que constituye la misión social que dio origen a su creación.

## Palabras clave

Modelo, complejidad, universidades, programas públicos.

## Abstract

Latin America and the Caribbean is the most unequal region in the world, as a re-

sult of many years of the neoliberal model, imposed from the industrialized countries, where a large part of the population has been exiled and survives in the periphery informally. A self-similarity, which could even be called socio-economic fractality, is observed in most of the countries of this region.

Despite the adversities, the resistance, the robustness and redundancy of this complex system and attempts to destabilize the local oligarchies, allied to the international powers, led by the United States, there have been important achievements in terms of economic growth, the reduction of inequality, recognition of social rights, educational and health systems.

However, leftist or progressive governments have not managed to make this series of benefits sustainable over time, among other factors, due to the lack of alternative models and programs, supported by relevant and feasible programs, according to the reality of each country.

Universities and research centers have the opportunity to collaborate in the design of proposals, programs and projects based on studies that address the real problems that afflict their respective societies, with an effective link, that makes the social mission that gave rise to its creation.

## Key words

Model, complexity, universities, public programs.

## 1. Antecedentes

El tamaño de la economía mundial se ha duplicado en los últimos 30 años. Esto significa que el producto interno bruto (PIB), indicador que mide la prosperidad económica de los países, ha crecido considerablemente en todas las regiones del planeta. Pese a este panorama, otra realidad se vive en la periferia debido a que el aumento de la riqueza no se percibe en el bolsillo de los más pobres. De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, (CEPAL, 2020), esta región sigue siendo la más desigual del mundo y según el Banco Mundial (BM, 2018), el coeficiente GINI la desigualdad en América Latina es un 30% mayor que el promedio mundial.

Hace pocos años, se publicó que los primeros 20 millonarios de América Latina poseen una riqueza de 249,400 millones de dólares. Mexicanos, brasileños y chilenos son los empresarios más acaudalados del continente; significan 81% de los 98 millonarios de la región (Forbes, 2015).

El número de multimillonarios aumentó más rápido en América Latina y el Caribe que en cualquier otra región del planeta. Al menos 73 de los multimillonarios que existen en esta región han incrementado sus fortunas en un total de 48,200 millones de dólares (mdd) entre marzo y junio de 2020, período en que la COVID-19 se instaló con fuerza en la región. El patrimonio de las personas más ricas de la región sigue creciendo. Desde marzo, cada dos semanas se agrega un nuevo integrante a la lista de personas que tienen una riqueza superior a los 1.000 millones de dólares en la región (Oxfam, 2020).

Entre los 14 países que más desigualdad presentan a escala global, 5 naciones africanas encabezan el listado, seguidas por muchos países latinoamericanos: Brasil, Honduras, México, Colombia, Paraguay, entre otros.

El hecho que América Latina sea la región más desigual del mundo, cuando medimos la desigualdad por ingresos, no es producto de la desventura ni de la casualidad; sino deriva de la historia profunda, intermedia y contemporánea en la que se configuró un sistema complejo de producción y reproducción de las desigualdades; así como de otros problemas asociados a estos fenómenos, como los problemas de pobreza, marginación, inseguridad, violencia, corrupción, endeudamiento, entre otros. Al interior de los países, ha evolucionado la articulación de un entramado muy complejo de relaciones sociales, económicas culturales, legales que están teleológicamente estructurados para establecer relaciones desiguales de los distintos sectores sociales, grandes empresarios, micro y pequeñas empresas, trabajadores formales e informales, maestros, trabajadores de la salud, comerciantes,

Un sistema que ha excluido a gran parte de la población, que solo ha podido sobrevivir en la periferia del sistema; son los los trabajadores informales, de los que dependen familias, adultos mayores, jóvenes y niños que no tienen mayores oportunidades para alcanzar mejores niveles de vida en un sistema que no permite casi la movilidad social.

Tampoco es una rara coincidencia, la autosimilaridad que se observa en los países de América Latina, a la que incluso se podría llamar fractalidad socio-económica, en la que muchos de estos problemas son el comun denominador que prevalece por las mismas causas; toda vez que, desde hace siglos, se les han impuesto modelos que favorecen a los países industrializados.

Desde hace siglos y hasta la actualidad, los países de América Latina siguen también confinados la periferia,

a ser monoprodutores y proveedores de materia prima y constreñidos a ser consumidores de productos industrializados, en una relación de intercambio desigual y de transferencia de riqueza, que se da a través de los mercados hacia los países desarrollados.

## 2. Los logros de los gobiernos progresistas en América Latina

Por fortuna, hasta en lo malo se da la impermanencia, nada es para siempre, excepto el cambio. "*Eppur si muove*", es la hipotética frase en italiano que, Galileo Galilei habría pronunciado después de retractarse de la visión heliocéntrica del mundo ante el tribunal de la Santa Inquisición.

Después de los atentados del 11 de septiembre de 2001, mientras los Estados Unidos orientaban sus fuerzas de control geopolítico hacia el Medio Oriente, Irak y otros estados islámicos, bajo el pretexto de desquitar este agravio, o bien de derribar a los tiranos, en nombre de la libertad, la justicia y la democracia; en América Latina surgieron gobiernos a los que se les ha llamado de izquierda, progresistas o populistas, que se se han manifestado abiertamente en contra del neoliberalismo. Sobre todo, estas últimas décadas, se han caracterizado por una serie de transformaciones en esta región, producto de las luchas sociales y movimientos de izquierda que, una vez que lograron triunfos claros y rotundos en las urnas, se declararon abiertamente en oposición al modelo neoliberal que caracterizó las décadas de los años 80 y 90 del siglo pasado.

Argentina es un ejemplo de las medidas de política pública que han seguido los gobiernos latinoamericanos progresistas: cancelar la totalidad de la deuda con el Fondo Monetario Internacional; la asignación universal por hijo con la condición de que vayan a la escuela y muestren la cartilla de vacunación cada seis meses; la disminución del desempleo; se crea la ley de medios con intención concreta de democratizarlos; la aprobación del matrimonio igualitario y la posibilidad de adopción; la creación de la ley de identidad de género; se nacionalizó en el petróleo y las aerolíneas nacionales; se enjuició a todos los represores de su última dictadura y se nacionalizaron los fondos de ahorro, etcétera.

Brasil, por su parte, destacó de los años 2004 a 2010 en virtud de las medidas de política pública impulsadas por Lula Da Siva y en la actualidad, no obstante algunos retrocesos, es una de las principales economías emergentes del mundo; logró el primer lugar en bancarización de la población; eliminó a intermediarios en entrega de los recursos públicos; más de 25 millones de brasileños salieron de la pobreza y se registró un aumento

del salario mínimo de 62% con inflación controlada; se lanzó el plan nacional para la erradicación del trabajo esclavo, liberando a más de 13,000 personas en trabajo degradante; se abrieron restaurantes populares y programas de lactancia materna; se impulsó la agricultura familiar; se entregaron microcréditos y se fomentó la economía local; se generaron millones de empleos formales; se redujo el trabajo infantil. "El crecimiento económico de poco ayuda si no hay democracia, ni políticas de distribución para evitar que el dinero siga en manos de pocos y el pueblo siga pobre y desnutrido" (Da Silva, 2014).

El caso de Bolivia es de los más destacables, desde el año 2006, Evo morales cambió la estructura económica de Bolivia, fue de las economías que más creció en América Latina. Durante su mandato logró a construcción cientos de unidades educativas, incrementó el salario mínimo de manera efectiva, fue de los países que más redujo a desigualdad, ya que logró que la pobreza extrema disminuyera de 38 a 17% entre 2006 y 2017. Nacionalizó los hidrocarburos y desarrolló la industria energética y ahora Bolivia es el mayor exportador de gas en la región y su producción eléctrica se incrementa considerablemente. El Producto Interno Bruto creció 327 por ciento; entre otros logros.

En Ecuador, Rafael Correa, en una década, de 2007 a 2017, promovió una revolución ciudadana. En 2008 después de una auditoría, declaró ilegítima e inconstitucional la deuda externa, anunciando la moratoria de 3,200 millones de dólares. Por el sistema educativo que promovió, fue reconocido por la ONU y por la UNICEF con el 80% de de jóvenes en edad de estudiar, mientras que en 2007 solo eran de 20%. Pasó de 9 médicos por cada 10,000 habitantes a 20 médicos; se construyeron hospitales y centros de salud. Recibió el reconocimiento del Foro Económico Mundial, en virtud de que en América Latina pasó del lugar 10 al 1º en calidad de vías de comunicación.

En Uruguay, por su parte, se incrementaron los salarios sin presiones inflacionarias. De acuerdo con el Banco Mundial, se redujo la pobreza de 39.9% en 2006 a 7.9% en 2017, con lo que logró ser el país menos desigual de América Latina y, proporcionalmente al tamaño de su población, con la clase media más grande. En salud se logró la cobertura total con su sistema nacional de salud; se decretó el matrimonio igualitario y la interrupción voluntaria del embarazo; se reglamentó el trabajo rural y trabajo doméstico, se redujo la mortalidad infantil, entre muchas otras consecuencias.

En general, en América Latina la desigualdad ha retro-

cedido desde el año 2000 especialmente durante las gestiones de gobiernos progresistas como el de Argentina, Brasil, Ecuador, Venezuela, Bolivia, Uruguay, como se muestra en la siguiente figura.

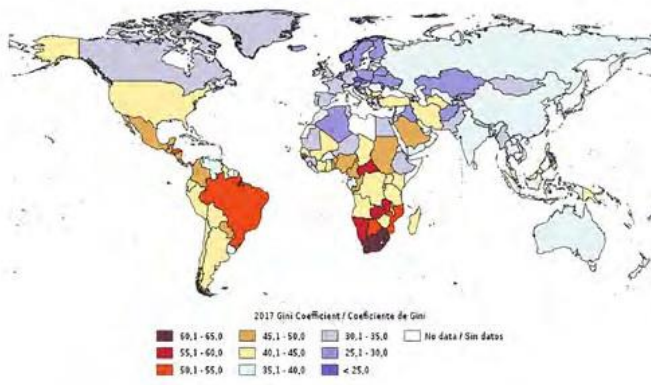


Figura 1. Coeficiente de Gini, Mapa del mundo (Wikimedia Commons, 2017)

Por tanto, podemos observar que los gobiernos de izquierda o progresistas de América Latina, que han accedido al poder, han logrado elevar el crecimiento de sus respectivos países, pero sobre todo han promovido una mejor distribución de la riqueza, han elevado la calidad de vida y garantizado los derechos sociales de la población; con lo que han demostrado que se puede construir un mundo más justo para todos. Sin embargo, es necesario reconocer que los gobiernos progresistas o de izquierda, no han logrado el bienestar y el progreso duradero.

Finalmente, para contrastar y poner en perspectiva los logros de los gobiernos progresistas, citaremos algunos de los resultados de los principales gobiernos de derecha:

Colombia, quien adoptó al pie de la letra las políticas neoliberales, se ubica en el primer lugar en niveles de desigualdad, donde el 10 por ciento de la población más rica de esa nación, gana cuatro veces más que el 40 por ciento más pobre. “en el último siglo, la desigualdad en Colombia se ha movido en rangos bastante amplios. Concentrándonos en la desigualdad de ingresos, y observando el coeficiente de Gini, desde 1938, éste ha fluctuado entre el 0.45 y el 0.59” (Forbes, 2020).

Por su parte en la opulenta ciudad de Panamá rodeada de rascacielos, el 25 por ciento de sus ciudadanos no tienen servicios sanitarios 5 por ciento no tiene agua potable, 11 por ciento sufre de desnutrición y 11% vive en casas con pisos de tierra (Cruz, 2019).

Chile, considerada la economía con mayor crecimiento desde la década de los 80; caracterizada como por ser

el laboratorio de las políticas económicas neoliberales; destaca por sus altos niveles de desigualdad en ingresos, educación y bienestar social, según el Estudio económico de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2015) el 10% más rico tiene un ingreso 27 veces superior al 10% más pobre.

### 3. La resistencia del sistema a la transformación, los ataques de las burguesías locales y su alianza con el imperio y los oligopolios internacionales.

El capitalismo global es un sistema de poder complejo, integrado por redes de élite, inter oligopólicas, gobiernos y grupos políticos, ideológicos y empresariales, en las que colaboran también:

- Instituciones militares
- Económicas
- Financieras

Son extensiones de las redes formadas por las naciones dominantes (nodos dominantes) para mantener el control político, económico y cultural sobre los estados dominados (nodos periféricos).

Bajo ese enfoque, el sistema socioeconómico y político que impera en América Latina es un modelo teleológico, promovido por el capitalismo internacional y las oligarquías locales que a través de los años se han reconfigurado, mutado, adaptado y evolucionado, para mantener las condiciones de explotación, saqueo, desigualdad y marginación que caracterizan, identifican y autosimilarizan a los países de la región.

Para mantener el sistema, desde los países centrales, se han impuesto modelos de funcionamiento y control en diversos ámbitos: económico, educativo, de desarrollo científico y tecnológico, que les facilite complementar y satisfacer las demandas de las empresas transnacionales, en cuanto a materias primas, hidrocarburos, mano de obra no calificada y especializada en los procesos industriales.

El resultado, ha sido: la exclusión, pauperización y marginación de gran parte de la sociedad en la que se impone.

Este sistema teleológico, ha sido entretejido por muchos años, de manera compleja en muy diversos ámbitos de la vida social, como lo son: la educación, la cultura, el contexto normativo, legal, ético y moral; la estructura política y el modelo económico, entre otros. Como sistema es robusto, redundante y presenta resistencias a los cambios, para preservar los objetivos

e intereses de los beneficiarios del sistema, las clases sociales y políticas en el poder, aliadas a los Estados Unidos de Norteamérica, al poder militar, a los medios de comunicación y a los intereses internacionales e incluso, aunque no se admita, a la delincuencia organizada.

El mayor obstáculo a la transformación del sistema, en un sistema más equitativo y justo, radica en los grupos conservadores que defenestran a los gobiernos de izquierda o progresistas calificándolos de chavistas o castrochavistas; aprovechando la desestabilización (provocada en Venezuela), a través de los medios de comunicación, a su disposición, pagados, instrumentan campañas de desprestigio para engañar a la población, para evitar que accedan al poder otros gobiernos progresistas.

Los detractores de los gobiernos progresistas, bajo un análisis reductivo indican que, a estos países, les favoreció un excelente contexto externo en el que en el mercado internacional se verificó el aumento de los precios del petróleo, las materias primas y en general al incremento del precio de sus exportaciones. Además, afirman que el crecimiento lo lograron con el aumento del gasto social, calificándolos de gobiernos populistas. O bien, indican que los logros tienen que ver con el bono demográfico que los benefició en la década de los 90, debido a que la tasa de dependencia, la cantidad de personas dependientes niños y adultos mayores, es la más baja de la historia de la región y eso les brinda posibilidades de mejorar su nivel de vida.

Los grupos conservadores del sistema, continúan difundiendo la narrativa que ha prevalecido durante siglos de dominación, para presentarse a sí mismos como los promotores de modernidad, defensores de la democracia y del libre mercado. A los gobiernos de izquierda los presentan como causantes del atraso y que necesitan de las formulas, los recursos, las tecnologías y la ayuda de occidente para modernizarlos.

Incluso, frente a la integración de América Latina, desde los Estados Unidos de Norteamérica y las ultraderechas locales, emprenden tácticas o acciones desestabilizadoras, armas psicológicas, sociales, económicas y políticas, para deponer los gobiernos progresistas de la región.

Basan este tipo de ofensivas en la metodología del estadounidense James Sharp (2011), experto en desestabilizaciones no violentas. La estrategia de golpe suave o golpe encubierto que consiste en el uso de una serie de medidas no directas de carácter conspirativo, promovidas por un grupo económico y político, con el fin de desestabilizar a un gobierno y causar su caída, sin que parezca que ha sido consecuencia de la acción de otro poder.

El fin de estas medidas, es el de derrocar a un gobierno democráticamente constituido y de esta manera hacerse el poder político de una nación.

- **Primera etapa:** Ablandamiento que promocionan factores de malestar denuncia corrupción y promueve intrigas.
- **Segunda etapa:** Deslegitimación: campañas en defensa de la libertad de prensa y derechos humanos acusaciones de totalitarismo.
- **Tercera etapa:** Calentamiento de calle que consiste en manifestaciones por demandas políticas y sociales; así como tomá de instituciones públicas.
- **Cuarta etapa:** Es una combinación de formas de lucha que consisten en operaciones de guerra psicológica y fomentar un clima de ingobernabilidad.
- **Quinta etapa:** Fractura institucional, en la que se obliga la renuncia al presidente, con acciones callejeras, se toman instituciones y preparan la intervención militar en un clima de guerra civil prolongada y la promoción también de aislamiento internacional.

Estas estrategias, se han aplicado por parte de los Estados Unidos de Norteamérica, coludido con las burguesías locales, en todos los países en donde han triunfado movimientos de izquierda o progresistas; como Cuba, Venezuela, Ecuador, Bolivia, Argentina, Brasil, Chile, y ahora en México.

#### 4. La necesidad de un modelo de bienestar y prosperidad de los países de América Latina

Si bien, los gobiernos de izquierda o progresistas de América Latina han impulsado reformas para reconocer los derechos sociales, reducir las desigualdades económicas y generar con esto bienestar para más personas; a pesar de los obstáculos y resistencias del sistema, **también, siendo autocríticos, se debe admitir que no ha sido suficiente lo que han hecho las izquierdas para dar continuidad a los procesos de transformación.**

Seguimos supeditados a los capitales extranjeros, bajo un modelo extractivista que depende de las exportaciones de actividades como la minería, los hidrocarburos, las materias primas y los productos agropecuarios, lo que trae afectaciones graves al medio ambiente.

**No se han fortalecido los sectores productivos y somos importadores netos de bienes intermedios, refacciones, insumos, maquinaria y equipo;** lo que, por efecto de la elasticidad de los precios, en el muy corto plazo nos origina saldos negativos en las balanzas comerciales y una gran transferencia de valor,

a través de los mercados internacionales de bienes o servicios y de productos financieros.

Las transferencias, apoyos y subsidios que se otorgan a través de programas sociales, irremediamente resultan insostenibles en el tiempo. Al no tener recursos suficientes para sostener subsidios programas y no haber incentivado la inversión privada productiva (no especulativa), surgen desequilibrios en las finanzas públicas.

Es cierto, es una lucha tremenda contra una gran cantidad de poderes formales, fácticos e intereses; pero no todo es culpa de la ultraderecha; **también de manera involuntaria colaboramos con mucho, al carecer de un Modelo propio** (Por no llamarlo de desarrollo ni de progreso, dos términos muy gastados y desprestigiados por la propaganda de los países desarrollados), por tanto le llamaremos de bienestar o prosperidad.

Por tanto, no es por el infortunio ni porque estamos determinados por un destino catastrófico; **nos corresponde, de manera inexcusable diseñar y contruir nuestro propio Modelo de Gobierno y de políticas públicas, para promover proyectos productivos en todos los ámbitos.**

Se requieren construcciones en abstracto y pensamientos que, a cada país, en cada uno de sus contextos, les permita, en la práctica, edificar la sociedad que necesitan.

Modelos donde quepan todos, en la gran diversidad de pensamientos que existen en las comunidades, así como segmentos sociales y políticos, que de facto actualmente existen, en cada país de la región.

**Esto es, construir en abstracto, modelar con el pensamiento**, para posteriormente, mediante la praxis colectiva, política contextual, edificar el propio pensamiento; **materializado en planes, programas, proyectos y otras medidas diseñadas e implementadas de manera profesional.**

En ese sentido, en preciso mencionar que para que cambien los resultados en América Latina y el Caribe, se deben cambiar en forma sistémica, las entradas, sus componentes, las interacciones, los flujos, así como las reglas.

Un modelo que responda las preguntas básicas de indagación:

**¿Qué construir?**

**¿Dónde lo construir? (contexto espacial)**

**¿Cuándo construir? (Contexto temporal)**

**¿Quiénes participarán?**

**¿Cómo se construirá?**

**¿Para qué se construirá?**

Contar con otros mundos posibles requiere de amasar la idea, quererla, deseirla y comprometerse activamente con esa construcción; **pero sobre todo debe ser construida en abstracto.**

Sabemos que es necesario un mundo más equitativo, pero no se logra solo con buenas intenciones y con programas elaborados sobre las rodilla. Debemos insistir, las mejores decisiones deben ser planeadas, sustentadas en proyectos, con estudios de factibilidad e implementadas de manera profesional.

## **5. La oportunidad de una transformación en el caso de México**

En México, el Estado como Rector de la economía, por muchos, años proporcionó servicios sociales y asumió la responsabilidad de garantizar el empleo, redistribuir el ingreso y disminuir las desigualdades sociales.

Bajo la economía de mercado, a partir de 1983, los gobiernos en turno dieron continuidad a las medidas de desregulación económica que afectaron los servicios de las instituciones de bienestar social y en los hechos implicaron el traspaso de responsabilidades públicas en materia social hacia las familias, las comunidades y el mercado.

Los Programas Públicos de privatización, liberalización y apertura comercial generaron múltiples efectos en el empleo, salud, vivienda y en general en la calidad de vida de un gran porcentaje de la población, lo cual se puede observar en las siguientes cifras:

- a) En 2020, en México, 21 millones 600 mil personas no tienen trabajo, de las cuales, 13 millones 800 mil se sumaron después del primer trimestre de 2020, con motivo de la pandemia del COVID-19 (Xantomila, 2020).
- b) empleo informal en 2020 es de 56.7% de la Población Económicamente Activa, lo que se traduce que cerca del 60% de los trabajadores no tiene seguridad social (INEGI, 2019).
- c) De acuerdo con el informe de Derecho a la Vivienda del Coneval, aproximadamente 14 millones de hogares no gozan del derecho a la vivienda digna y decorosa, esto representa al 45% del total de viviendas registradas en el país. La principal razón es la falta de recursos económicos. Esto es que aproximadamente 73.6 millones de mexicanos no



tienen ingresos para cubrir sus necesidades habitacionales (CONEVAL, 2018).

- d) El 21% de personas en México no cuenta con servicios de salud y el 41% pagan por sí mismos sus gastos, una cifra mucho mayor que el promedio de Latinoamérica, en donde solo se paga el 28 por ciento (World Bank, 2018-a). El gasto en salud en México es de 5,5 puntos del PIB, menor al gasto de Honduras, El Salvador y Zimbabue (World Bank, 2017-b).
- e) Las nuevas generaciones difícilmente encuentran alternativas para integrarse a las actividades económicas siendo las más afectadas por la pobreza, inequidad y marginación.

## 6. Diseño y gestión de los programas públicos en México

En México, es una práctica generalizada implementar Programas Públicos de manera empírica y para el corto plazo, con aparentes soluciones inmediatas, basadas en el eficientísimo, clientelismo y beneficio electoral y político en donde las consecuencias de largo plazo no tienen la mayor relevancia. Para los servidores públicos de los distintos niveles de gobierno, federal, estatal y municipal, especialmente en los niveles más altos de toma de decisión, resolver lo inmediato es lo prioritario; en el medio se le conoce como "apagar fuegos" a base de "bomberazos".

Bajo este esquema, en el servicio público los funcionarios difícilmente se encuentran espacio para la planeación y el diseño e implementación de Programas Públicos. En los Programas Operativos Anuales (POAs) o Matriz de Indicadores de Resultados (MIR), que son instrumentos de planeación, programación y presupuestación, cada año se integran de manera inercial; se acostumbra repetir lo mismo de los años anteriores. De tal manera que si se pretende hacer una transformación de la administración pública ¿cómo hacerla repitiendo lo mismo?.

El desarrollo nuestro país está en función de su capacidad de contar con Instituciones capaces de percibir los problemas de los ciudadanos, pero lo más importante es su capacidad de atención y resolución de los problemas, a través de Programas Públicos muy bien diseñadas e implementadas que solucionen los asuntos que competen al Estado y contribuyan a convivencia social, cultural, política y económica de los ciudadanos, instituciones, organizaciones y autoridades.

Sin embargo, han tenido serios problemas de diseño,

gestión y/o resultados, lo cual le ha merecido diversas críticas como: inadecuadas, costosas, asistencialistas y, por motivos electorales, clientelistas, que gravan el empleo formal, subsidian el empleo informal, entre otros. Por otra parte, los métodos para diseñar Programas Públicos desde el enfoque tradicional, lineal y reduccionista no ha arrojado resultados satisfactorios, en general, se observa que las decisiones que se han tomado para resolver los problemas económicos y sociales han sido parciales y no han derivado en los resultados esperados, debido a que los Programas Públicos se han tratado de construir con "ladrillos" de disposiciones.

Estas medidas, en la mayoría de las ocasiones no son complementarias, son contradictorias, limitadas y contrapuestas al objetivo que se busca, lo cual es reflejo de las limitaciones metodológicas que ofrece el enfoque disciplinar para abordar problemas económicos o sociales que por naturaleza son multidimensionales y complejos.

A través de los Programas Públicos se deben ejecutar medidas de gobierno sostenibles, eficientes, eficaces, incluyentes y viables que deben responder a los problemas de México, promover la gestión de un gobierno capaz de enfrentar los problemas económicos, sociales y de seguridad que en la actualidad aquejan a los ciudadanos.

## 7. Resultados de los programas públicos en México

En una situación de desigualdad y exclusión como la que sufre México, los Programas Públicos de desarrollo social, deben ser herramientas de distribución en el corto plazo; en tanto los Programas Públicos en general, promover el desarrollo y el bienestar de la sociedad en general.

Sin embargo, los programas públicos han tenido serios problemas de diseño, gestión y/o resultados, lo cual le ha merecido diversas críticas como: inadecuados, costosos, asistencialistas, por motivos electorales, clientelistas, entre otros.

Usualmente estos programas fallan por:

- a) Imprevisión o falta de diagnóstico.
- b) Ceguera o diagnóstico sin estudios.
- c) Indecisión o falta de decisión.
- d) Improvisación o decisión sin diagnóstico.
- e) Inacción o falta de dirección.
- f) Inercia o dirección sin decisión.
- g) Secretismo o falta de difusión.
- h) Demagogia o difusión sin dirección o decisión.

La organización civil Gestión Social y Cooperación (GESOC, 2018), presentó, a la Cámara de Diputados, el Índice de Desempeño de los Programas Públicos Federales 2018 en donde se afirma lo siguiente:

- i) De los 122 programas sociales que instrumenta el Gobierno Federal, al menos cien son opacos e ineficientes.
- j) Estos programas sociales, representan el 81.98 por ciento del total y no pueden ser evaluados en su desempeño debido a su falta de transparencia
- k) concentran 55.76 por ciento del presupuesto de 849 mil 704 millones de pesos asignado al gasto social en este año.
- l) Hay 5 programas que son considerados como la "caja negra del gasto social", debido a que no identifican la población a que van dirigidos,

## 8. El papel de las universidades en la atención de los problemas sociales.

El enfoque lineal, disciplinar y de lógica clásica, no solo se ha aplicado a la manera de hacer ciencia y a la narrativa para explicar el mundo, también se ha extendido a las construcciones de las instituciones de todo tipo, públicas, privadas y sociales, con estructuras organizacionales verticales, disciplinarias, divisionales en las que se decide desde arriba y las acciones operativas se ejecutan desde abajo.

El modelo fundamental de este tipo de construcción es el organigrama y los manuales de organización, en los que se definen las funciones y atribuciones de los funcionarios y servidores públicos en general. En estos documentos se define, que no pueden hacer más que lo que las normas les mandatan.

Las universidades, públicas y privadas, en general, como muchos otros organismos fue concebida y estructurada de manera funcional y disciplinar. Posteriormente se crearon entidades académicas multidisciplinarias, incluso en algunas se afirma que se realizan estudios o investigaciones interdisciplinarias y hasta transdisciplinarias; más allá de las aulas y los cubículos.

No obstante, los estudios que realizan en los hechos, no corresponden con los nuevos tiempos y los esfuerzos realizados no han podido superar la profunda vocación disciplinaria que por muchos ha prevalecido en las instituciones educativas y de investigación.

La mayoría de los problemas sociales son eminentemente multidimensionales: la contaminación ambiental, la migración, la inseguridad y la violencia, la desigualdad, rezago científico y tecnológico, la violencia de género,

solo por citar algunos ejemplos de la gran cantidad de problemas, que como muchos otros, su estudio y propuestas de solución han sido y son responsabilidad de las instituciones gubernamentales, que hasta hoy solo han actuado en forma fragmentada y poco coordinada. Es necesario trascender los estudios reduccionistas y lineales que soslayan la dimensión política, social o cultural de los integrantes y su interacción, de otra manera, las propuestas continuarán siendo arbitrarias y subjetivas, con resultados parciales y que favorecen sólo a algún sector de la sociedad.

Sánchez (2010), quien fue director del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada y del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, indicó en el Foro Consultiva de 2010 que: "La ciencia no viene dedicada para ti que eres físico, químico, matemático o ingeniero eléctrico; sino que viene para todos. Generalmente son problemas multidisciplinarios. Yo no entiendo cuando un funcionario se acerca a un científico y le dice que debe hacer ciencia aplicada; me parece que refleja una falta de conocimiento pues esto es un poquito más complicado".

En las universidades, sobre todo las públicas, tienen el compromiso y hasta la obligación de promover investigaciones pertinentes, que aborden problemas que aquejan a nuestra sociedad, producir conocimiento, pero sobre todo presentar propuestas pertinentes, que representen soluciones viables y permitan elevar el nivel de vida de la población.

Sigue existiendo la necesidad de ampliar los vínculos de las universidades con la sociedad en su conjunto; de promover el trabajo inter y transdisciplinario, que permita de manera efectiva estudiar y desarrollar propuestas a problemas complejos, emergentes, multidimensionales y multivariados, que afectan a la sociedad, en los ámbitos de los sectores público, social y privado. Para el caso de los programas Públicos ver la siguiente figura:



Figura 2. Elaboración propia con base en: Ingeniería Jurídica y Económica (2008)

Es importante reconocer que han existido importantes esfuerzos para generar conocimiento interdisciplinario, sin embargo, no se ha aplicado de manera general a las entidades públicas del país para atender proyectos, proponer Programas Públicos o abordar problemas específicos de los ámbitos productivos, de desarrollo social o económico del país.

**a) La complejidad y la interdisciplina como base científica para el diseño de Programas Públicos.**

Se suele afirmar que con la revolución tecnológica y la globalización el mundo se ha vuelto más complejo. En realidad el mundo casi desde siempre ha sido complejo, sin embargo hasta los últimos años se ha reconocido la necesidad de contar con ciencias que nos permitan explicar y resolver problemas en los que concurren una gran cantidad de componentes, interacciones, causas y efectos emergentes no proporcionales y transversales, en muchas ocasiones no parametrizables y por tanto difícilmente de ser pronosticables.

Las Ciencias de la Complejidad se han aplicado para la investigación científica y el desarrollo tecnológico, pero sobre todo son una alternativa para abordar los problemas fundamentales que afectan al país. Esto es, los planes, programas, proyectos orientados a atender problemas complejos de desarrollo social, en sus distintos ámbitos: económico, cultural, educativo, de salud, entre otros, bajo las siguientes consideraciones:

- Los Programas Públicos deben estar diseñados bajo el enfoque de los sistemas complejos.
- Los Programas Públicos deben ser inter, transdisciplinarias e interinstitucionales, ya que involucran problemas complejos de muy diversa naturaleza, que se entrelazan y derivan en fenómenos emergentes más agudos.
- Para su diseño deben integrar a investigadores que actúen con una visión sistémica, crítica, creativa y humanista.
- Se requieren propuestas bajo un esquema de redes de participación colaborativa multidisciplinaria entre sociedad y gobierno.
- Se deben abordar utilizando herramientas propias para el estudio de sistemas complejos.

Sin embargo, no es un cambio sencillo, requiere proyectos y aplicaciones concretas, así como programas específicos y la inversión en infraestructura

y en recursos humanos, científicos y tecnológicos.

**b) La participación de las universidades en el diseño y evaluación de políticas públicas**

Para el periodo presidencial 2018-2024, en México se prevén una serie de cambios en la conducción del país, que indudablemente modificarán las condiciones de vida de la población en los ámbitos económico, social, cultural y educativo.

El Poder Ejecutivo ha definido **25 proyectos prioritarios, que tendrán un costo aproximado de 583,696 millones de pesos**, que se financiarán con presupuesto federal y con recursos provenientes de la iniciativa privada.

Si bien los cambios que se dan en el contexto representan retos, también constituyen una serie de oportunidades para que las universidades y centros de investigación participen en proyectos de trascendencia nacional.

Para aprovechar estas oportunidades de vinculación **las universidades deben constituirse en prestadoras de servicios a los distintos órdenes de gobierno en la elaboración de estudios inter y transdisciplinarios, así como para el diseño y asesoría para la implementación de programas públicos**, orientados a atender problemas complejos. Esto es:

- Diseñar, a solicitud de dependencias y entidades de la administración pública y de los gobiernos estatales y municipales, programas para la prestación de servicios públicos que promuevan el desarrollo social; el empleo y bienestar de las comunidades; el respeto a los derechos humanos, la diversidad cultural-étnica y la equidad de género; la seguridad pública y procuración de justicia, entre muchos otros.
- Prestar servicios de asesoría para la implementación de los programas públicos.
- Evaluar los programas y las estrategias institucionales, con el propósito de proyectar la mejora continua en la planeación, alineación de directrices institucionales, que permitan operar servicios de calidad, medibles de manera inclusiva a la percepción ciudadana y que gocen de credibilidad, transparencia y efectividad en los resultados obtenidos a corto, mediano y largo plazo.
- Organizar publicaciones, cursos, seminarios y talleres, para capacitar servidores públicos y promover que las decisiones de programas

públicos se tomen de manera planeada, metodológica y se evalúen con transparencia y objetividad.

- Constituirse en espacios académicos de exposición de ideas, que por su enfoque reflexivo, crítico, propositivo y alternativo, se instauren como atractores de científicos que haciendo valer el derecho de libre expresión, se pronuncien acerca de los problemas sociales que preocupan a la población.
- Se erijan como nodos para crear redes de colaboración nacional e internacional, sobre todo con los países de América Latina y el Caribe, para intercambiar experiencias, estudios, propuestas, conocimientos y recursos académicos para atender problemas comunes que aquejan a nuestras sociedades.
- Diseñar de propuestas integrales de programas públicos, pertinentes, planeadas, con los componentes de organización, ejecución, seguimiento y evaluación, para establecer acciones de mejora, para garantizar la calidad, cobertura y oportunidad de los servicios públicos, realizando las siguientes actividades:
  1. Realizar estudios interdisciplinarios y transdisciplinarios de la problemática a abordar.
  2. Elaborar programas públicos metodológicos y transversales
  3. Planear y alinear las directrices institucionales.
  4. Vigilar la implementación de los programas
  5. Documentar actividades, establecer controles, sistematizar procesos, análisis de operación y cobertura para el cumplimiento de metas.
  6. Evaluar la calidad de los servicios.
  7. Seguimiento y reingeniería de procesos de acuerdo al cumplimiento de procedimientos y readecuación, en su caso, de los mismos.
  8. Elaborar el ajuste de indicadores de seguimiento, evaluación y resultados con apego a las reglamentaciones de transparencia y rendición de cuentas.
  9. Dar a conocer los resultados mediante publicaciones de libros, capítulos de libros, artículos en revistas e informes periodicos los avances de cada uno de los programas implementados.
- Coordinar equipos interdisciplinarios y trans-

disciplinarios, para la aplicación de principios y conocimientos teóricos de, Administración Pública, Formulación y Evaluación de Proyectos, ciencias sociales y complejidad; así como de herramientas tecnológicas, para realizar propuestas de Programas Públicos en diversos ámbitos de los servicios gubernamentales.

## Conclusiones

Los gobiernos de izquierda o progresistas que han accedido al poder en América Latina, han logrado elevar el crecimiento de sus respectivos países, pero sobre todo han promovido una mejor distribución de la riqueza, elevar la calidad de vida y garantizar los derechos sociales de la población.

Han enfrentado resistencias del sistema, afectado y enfrentado intereses de las oligarquías locales, internacionales e intervencionismo del gobierno de los Estados Unidos y sus aliados, entre ellos, organismos internacionales, como el Fondo Monetario Internacional, el Banco Mundial, entre otros, que han intentado provocar retrocesos, desestabilizar, evitar transformaciones y mantener las condiciones de dominación y desigualdad. La desigualdad, pobreza, exclusión y violencia, son resultado de un sistema dotado de intencionalidad, entretenido por muchos años, configurado de manera compleja en diversos ámbitos de la sociedad, como lo son: la educación, la cultura, el contexto normativo, legal, ético y moral; la estructura política y el modelo económico, entre otros.

No obstante, todas estas condiciones desfavorables, los gobiernos de izquierda no han logrado establecer condiciones duraderas y han existido retrocesos e incluso fracasos de algunos proyectos, atribuibles también a que no han construido en abstracto modelos alternativos a las políticas neoliberales.

Sobre todo, han enfocado sus programas de redistribución del ingreso, en programas sociales de apoyo a los segmentos sociales más desfavorecidos. Pero no han sentado las bases para soportar estos programas en proyectos productivos que den sustentabilidad a estas medidas de desarrollo social.

Es necesario contar con Modelos alternativos en diversos ámbitos de la vida social y económica de los países, para lo cual se sugiere que exista una vinculación efectiva con las universidades y centros de investigación; que tienen la obligación de contribuir al desarrollo de sus respectivos países, con estudios y propuestas inter y transdisciplinarias que atiendan la complejidad de la realidad social y económica de cada contexto.

## Referencias

- Banco Mundial (2018). Grupo de investigaciones sobre el desarrollo. [En línea]. Disponible en: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2015/09/pdf/lustig.pdf>
- CEPAL (2020) [En línea]. Disponible en: <https://forbescentroamerica.com/2020/06/15/america-latina-y-el-caribe-siguen-siendo-la-region-mas-desigual-del-mundo-alicia-barcelona/>
- CONEVAL (2018). Estudio Diagnóstico del Derecho a la Vivienda Digna y Decorosa 2018. [En línea]. Disponible en: [https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Derechos\\_Sociales/Estudio\\_Diag\\_Vivienda\\_2018.pdf](https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Derechos_Sociales/Estudio_Diag_Vivienda_2018.pdf)
- Cruz, Daniel (2019). Desigualdad en América Latina. [En línea]. Disponible en: <https://lavacunadecubablog.wordpress.com/2019/04/15/desigualdad-en-america-latina-ii-y-final/>
- Da Silva, Lula (2014). ¿A donde va la nueva izquierda de América Latina?. [En línea]. Disponible en: <https://geopoliticaudem.wordpress.com/2014/05/19/adonde-va-la-nueva-izquierda-de-america-latina/>
- Desigualdad en América Latina: los países en los que más ha disminuido (y la paradoja del que más la ha reducido). [En línea]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50255301>
- Forbes (2015). Los millonarios de América Latina. [En línea]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/los-millonarios-de-america-latina/>
- Forbes (2020). Lo que no se dice sobre la desigualdad en Colombia. [En línea]. Disponible en: <https://forbes.co/2020/09/15/red-forbes/lo-que-no-se-dice-sobre-la-desigualdad-en-colombia/>
- GESOC (2018). Índice de Desempeño de los Programas Públicos Federales 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.indep.gesoc.org.mx/downloads/2019/Presentaci%C3%B3n%20a%20medios%202019.pdf>
- INEGI (2019). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE). [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2020/trabajoNal.pdf>
- Ingeniería Jurídica y Económica (2008). Políticas Públicas. [En línea]. Disponible en: <https://www.ije.com.mx/politicas.html>
- OCDE (2015). Estudios económicos de la OCDE CHILE. [En línea]. Disponible en: <http://www.oecd.org/economy/surveys/Chile-2015-vision-general.pdf>
- Oxfam (2020). Aumentan los millonarios de América Latina a medida que la región más desigual del mundo se hunde bajo el impacto del coronavirus. [En línea]. Disponible en: <https://www.oxfam.org/es/notas-prensa/aumentan-los-mil-millonarios-de-america-latina-medida-que-la-region-mas-desigual>
- Sánchez, Feliciano (2010). "Ciencias Exactas y de la Tierra". En El debate de la ciencia en México. Múltiples visiones un mismo compromiso, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C. [En línea]. Disponible en: [http://www.foroconsultivo.org.mx/libros\\_editados/el\\_debate\\_de\\_la\\_ciencia.pdf](http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/el_debate_de_la_ciencia.pdf)
- Sharp, James (2011). De la dictadura a la democracia. Un sistema conceptual para la liberación. [En línea]. Disponible en: <https://www.aeinsteinstext.org/wp-content/uploads/2013/09/DelaDict.pdf>
- Wikimedia Commons, (2017). Coeficiente de Gini, Mapa del mundo. [En línea]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2017,\\_Coeficiente\\_de\\_Gini,\\_Mapa\\_del\\_mundo.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2017,_Coeficiente_de_Gini,_Mapa_del_mundo.svg)
- World Bank (2017-a). Out-of-pocket expenditure (% of current health expenditure) - Mexico, Latin America & Caribbean. [En línea]. Disponible en: <https://data.worldbank.org/indicator/SH.XPD.OOPC.CH.ZS?locations=MX-ZJ>
- World Bank (2017-b). Current health expenditure (% of GDP) - Mexico, Honduras, El Salvador, Zimbabwe. [En línea]. Disponible en: <https://data.worldbank.org/indicator/SH.XPD.CHEX.GD.ZS?locations=MX-HN-SV-ZW>
- Xantomila, Jessica (2020). Se dispara tasa de desempleo en México en 2o. trimestre, reportan. La jornada, [En línea]. Disponible en: <https://www.jornada.com.mx/ultimas/economia/2020/07/16/en-el-2deg-trimestre-13-millon-800-mil-perdieron-su-empleo-en-mexico-1348.html>



# Finanzas y Complejidad

**Glenn Roberto Arce Larrea**

glenn@unsa.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-6949-9001>

Universidad Nacional De San Agustín

**Angela Daniela Portugal Pacheco**

aportugal@unsa.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-3096-3740>

Universidad Nacional de San Agustín

**Wendy Anne Ugarte Mejía**

wugartem@unsa.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-2185-5887>

Universidad Nacional de San Agustín

---

Recepción: 28/10/2020

Aceptación: 18/11/2020

## Resumen

El presente artículo pretende explicar, mediante la revisión de literatura, como las finanzas fluctúan en un entorno incierto, dinámico, cambiante y de sistemas complejos. Es así como las finanzas están estrechamente vinculadas con la complejidad. En consecuencia, la linealidad en las decisiones de los inversores generará desventajas, que se podrían traducir en pérdidas cuantiosas. Por lo que es necesario analizar el entorno desde una perspectiva no lineal incluyendo agentes y eventos significativos y manejando factores psicosociales que distorsionan las percepciones y toma óptima de decisiones de los inversores.

## Palabras Clave

Finanzas, riesgos, complejidad, estrategia, toma de decisiones, creación de valor

## Introducción

Las finanzas constantemente se han visto representadas por las operaciones de compra y venta de activos, capaces de generar rentabilidad y expectativas estratégicas de los inversionistas, que en el futuro se tangibilizarían en creación de valor. Siendo la creación de valor un proceso imprescindible para el desarrollo, competitividad y perpetuidad en el mercado de una determinada empresa.

Sin embargo, este proceso de creación de valor siempre ha estado estrechamente ligado con las expectativas de los inversores, desarrollando estimaciones de demandas respecto a realidades, percepciones, experiencia, instrumentos y modelos como un valor netamente numérico.

Es decir, por muchos años el valor de una corporación ha sido medido y valorado por ciertos modelos e instrumentos a nivel global, los mismos que han permitido alinear componentes, tomando factores y activos importantes de una forma netamente li-

neal o unidimensional. Presentando análisis matemáticos con variables de comportamiento normal, ignorando el entorno y sistemas complejos dentro y fuera de las finanzas. Exponiendo brechas en las estructuras financieras, reflejando problemas y desventajas en la toma de decisiones de los inversores.

### **Problema a estudiar:**

La linealidad en las finanzas operadas a través de métricas o modelos tradicionales matemáticos y globales, han generado brechas importantes en las decisiones de los inversores; exponiéndolos a desventajas y pérdidas cuantiosas. Omitiendo variables importantes de entorno no lineales y sistemas complejos que actúan como fuerzas subyacentes dentro y fuera de las finanzas.

### **Desarrollo de Finanzas y Complejidad**

La creación de valor hoy en día ha tomado gran importancia debido a que se ha convertido en una forma estratégica de permanencia en el mercado y competitividad de las diferentes corporaciones. Por lo que se afirma que, una empresa que genera valor tendrá un desenvolvimiento sustancial en el mercado lo cual le permitirá generar beneficios acordes a las expectativas de los accionistas.

Pero, para poder crear valor existen muchos procesos particulares que cada corporación debe realizar, para así operacionalizar sus fuerzas, componentes y capacidades. A pesar, que estos procesos internos para la generación de valor son bastante particulares para cada empresa, a lo largo de los años los inversores han venido buscando la forma de medir la creación o destrucción del mismo desde una perspectiva estandarizada, permitiéndoles a los tomadores de decisiones evaluar operaciones en el mercado como compra o venta de acciones de las diferentes organizaciones. (Ramírez, Carbajal & Zambrano, 2012)

Con la aparición de la globalización y la creciente accesibilidad a la información, las necesidades corporativas para el incremento de la rentabilidad y permanencia en el mercado se han visto desafiadas. Por lo que el campo financiero, ha proveído establecer un enfoque de valoración corporativa, el cual pudiera aumentar la confiabilidad de las organizaciones y pronosticar expectativas de valor a largo plazo. (Vitari & Raguseo, 2016).

Sin embargo, para realizar la valoración empresarial era necesario establecer criterios generales, así como métodos, técnicas e instrumentos matemáticos, los cuales

permitieran hacer un diagnóstico fundamental y técnico de la corporación con la finalidad de atribuirle un valor activo. (Kryvovyazyuk et al, 2020)

Es entonces que, con el tiempo se han desplegado muchos términos, connotaciones, técnicas, fórmulas, herramientas e instrumentos que han permitido de una u otra forma, a los expertos valorar las organizaciones o compañías. Muchas de estas formas de medición han sido muy reconocidas y son fuente de consulta a nivel corporativo internacional, cuando se habla de valorar una organización. Dentro de estas medidas existen: Ratios financieros, modelos como: RAROC, CAPM, DCFM, TGRM, GGM, EM entre otros.

Siendo el objetivo principal de estas métricas valorar la rentabilidad de la empresa utilizando expectativas futuras a través de las fluctuaciones de precios actuales, los cuales se cotizan segundo a segundo en la bolsa de valores. Es así que, mediante estas técnicas e instrumentos se pretende administrar riesgos, para generar mayor rentabilidad en el tiempo. De esta forma los precios se mantienen con variaciones mínimas y volatilidades poco fluctuantes. Permitiendo asegurar a los inversores de las diversas organizaciones rentabilidad, liquidez y creación de valor. (Álvarez, 2002)

Es a través de estos modelos y métodos de entrada y salida múltiple que se puede valorar una empresa mediante la combinación de varios enfoques, instrumentos, modelos, etc.

Siendo las decisiones estratégicas que toman los inversores de la empresa las que afectan la eficiencia de su funcionamiento. La linealidad en la evaluación analítica empresarial es una herramienta que muchos determinan confiable para corroborar la efectividad de futuras decisiones. Es así que, con el fin de evitar las desventajas o pérdidas cuantiosas, se buscan modelos fiables o la combinación de los mismos, para tomar una decisión de compra o venta de acciones. (Kryvovyazyuk, et al, 2020)

Sin embargo, la valoración empresarial va más allá de la medición del valor numérico establecido por modelos. Lo cual sugiere un cambio, de una perspectiva lineal o netamente matemática que se ha venido acrecentando en la última década.

Los inversionistas al analizar factores como rentabilidad, pasivos, activos, riesgos, fluctuaciones de precios, volatilidad implícita, entre otros indicadores, lo único que tienen en mente es número específico, el cual va a determinar una decisión financiera. Pero, la decisión financiera por la que va a optar este inversionista va



a estar en función a muchos factores que no son necesariamente numéricos, sino tienen una connotación psicosociales y complejas.

No obstante, estos métodos están sobrevalorados porque ni los riesgos, volatilidad, entorno y agentes corporativos son lineales, entonces no se conducen mediante una sola dirección, sino que en este proceso intervienen dinámicas fluctuantes emocionales, incertidumbre, especulación y complejidad entorno, las cuales no solo pueden ser medidas matemáticamente.

Por lo que el campo de las finanzas es un ejemplo muy interesante de complejidad, que se mueve por las decisiones de los inversores, las cuales, buscan generalmente "ganar", es entonces que los mercados financieros son sistemas dinámicos donde se dan interacciones complejas.

Ello debido a que las finanzas se desarrollan en un entorno incierto, dinámico y cambiante, el cual se ha venido agitando y fluctuando con mayor rapidez con las nuevas innovaciones y flujos de la información, generados por la globalización. Un ejemplo claro es que, el precio de una acción puede interrelacionarse y reflejarse con el cambio de estado de ánimo de una persona en Facebook. Así también el aumento o declive del precio de un activo puede significar una búsqueda cuantiosa en Google, la cual puede tener un impacto significativo en la empresa competidora, exponiéndola a un riesgo. Este flujo interesante de información puede regenerar el cruce e interrelación de factores relevantes en el entorno, exponiendo una dinámica compleja en el sistema financiero. Ello ha permitido dejar entre ver que las finanzas se mueven mediante sistemas complejos, que son los que explican el comportamiento colectivo de ciertos factores intrínsecos y extrínsecos, en las decisiones financieras. Ya que este sistema complejo implica interconexiones y regulaciones con todos los factores o artistas que pueden significar efectos positivos o negativos en el campo financiero. (Jiang, X., Chen, T. & Zheng, B., 2014)

Es decir, en el campo financiero se dan interacciones importantes entre factores no lineales, los cuales exhiben de manera particular transiciones abruptas en periodos muy cortos de tiempo. Estas transiciones se dan por "fuerzas" subyacentes, que generalmente colapsan el equilibrio de los mercados financieros, exponiéndose a fallas estructurales, que no solo pueden ser medidas cuantitativamente como colapsos en el mercado de valores, disturbios sociales que conducen a grandes cambios.

Estos factores de cambio en el mercado de valores, por

ejemplo, se traducen en el aumento o desplome acelerado de precios entrando en fases de incertidumbre y especulación para los inversores. En consecuencia, las finanzas son complejas y no dependen de factores lineales, sino que se desarrollan a través de fluctuaciones y sistemas complejos (Sornette, 2004)

Estas dinámicas complejas en el campo financiero si no son gestionadas estratégicamente pueden desencadenar fallas sistémicas en el mercado, porque se pretende dar soluciones lineales a dinámicas de entorno complejas.

Por lo que la complejidad en los sistemas financieros significa para muchos inversores confusión y pérdidas. Ya que la fluctuación de causas pequeñas o grandes y factores no cuánticos pueden causar mucha incertidumbre y especulación en el mercado, lo que conlleva a los inversionistas a desarrollar temor o pánico ante las situaciones a las que se encuentran expuestos. Generando problemas que los interrelacionan con riesgos, que en muchas oportunidades significan pérdidas de rentabilidad.

Pero ello dependerá del manejo de incertidumbre de los inversores, porque la complejidad del sistema no podrá ser abordada desde enfoques y modelos lineales, ya que de ser este el caso, se expondrán a consecuencias no deseadas y, a menudo a pérdidas cuantiosas, por lo que no podrán regular su situación solo con posiciones técnicas, sin perspectivas de entorno y análisis de factores endógenos y exógenos englobando un todo articulado y fijándose en cada una de sus aristas de forma estratégica. (Steven & Schwarcz, 2009)

Por lo que se necesita la intuición del inversionista, así como el saber reconocer el entorno a través de referentes de valor. Porque las métricas tratan matemáticamente desde una perspectiva reducida los cambios e incertidumbre en las dinámicas complejas del entorno financiero.

Es decir, distorsionan las perspectivas de realidades para tomar una sola forma de realidad y trabajar bajo este enfoque en riesgos, volatilidad, fluctuaciones generando expectativas e ignorando la incertidumbre como eje de caos para las dinámicas financieras que se desarrollan en un entorno complejo.

En consecuencia se toman por ejemplo a los riesgos, volatilidades y especulaciones como solo factores lineales y amenazantes que provocan desventajas para las organizaciones. No obstante, estos factores están asociados con muchos otros que son necesariamente matemáticos o pueden ser abordados linealmente, se

necesita percepción y conocimiento para poder identificarlos, coberturarlos y administrarlos.

Para ello es importante considerar que los riesgos están estrechamente vinculados con la complejidad, es decir no son una parte de las finanzas que necesita ser controlada o minimizada. Se necesita gestionar la incertidumbre y diseñar estrategias de cobertura las cuales no deben ser manejadas únicamente con instrumentos o modelos matemáticos. De tal forma que no se considere al riesgo como un factor o componente financiero que deba ser controlado, sino que se evalúe y administre como un todo complejo incurriendo en variables de entorno y conductuales. (Fender & Mitchell, 2005)

Es así que la complejidad y las finanzas están muy vinculadas dándole una connotación multidimensional y conductual, donde influyen muchos factores dentro de ellos el comportamiento, estrés, emociones, confianza, experiencia, conocimiento y agilidad de respuesta. Todos estos factores son relevantes para diseñar, ejecutar y evaluar estrategias para dar respuestas óptimas ante sistemas y dinámicas complejas.

Un factor importante de analizar es el comportamiento de los inversores al tomar una decisión para poder coberturar riesgos, ya sean internos o externos, ya que en este punto las emociones juegan un papel significativo en la toma de decisiones.

A pesar de que las emociones tienen un carácter principal en la toma de decisiones embebidas en las corporaciones, no se puede decir que las organizaciones tienen sentimientos o pensamientos refiriéndose solo a una estructura inerte, sino que ello conlleva a una connotación distinta y es que las emociones están orientadas hacia las decisiones y expectativas de los inversores, que prevalecen dentro y entre las organizaciones en el sector financiero. (Pixley, 2002)

No obstante, al estar dentro de los procesos de decisiones financieras tienden a "distorsionar" las operaciones normales en el mundo financiero dejándolo frágil o dicho de otra forma crean brechas de especulaciones las cuales son sesgos, que en varias oportunidades impactan negativamente en las decisiones presentes y expectativas futuras.

Otro factor relevante que puede influir en las decisiones de los inversores son las percepciones, creencias o preferencias las cuales sesgan las decisiones de inversión financiera. Estos sesgos revelan el diseño de la mente del inversor y también los defectos de ella exponiéndolo a eventos inciertos.

Al igual que las emociones, las creencias, preferencias y percepciones impactan significativamente en las decisiones de los inversores ya que la mente de los individuos comprende y archivan información de acuerdo a esquemas y categorizaciones internas aprendidas (Pompian, 2006) Los cuales en muchas oportunidades son sesgos que pueden dominar la cognición dando como resultado una decisión afectiva y no efectiva.

El impacto de estos sesgos es tal que los sentimientos de esperanza y miedo desvían la atención del tomador de decisiones y le hace tomar una decisión más sobre parámetros emocionales que sobre razonamiento.

Debido a la presencia de estas heurísticas y sesgos, la información no se utiliza de manera objetiva. Además, los sentimientos como el miedo, la codicia, la seguridad, la conformidad y la seguridad afectan decisiones elecciones y sesgan a un individuo hacia opciones que se adapten a los motivos del individuo.

Si bien existen factores internos como la conductualidad, emociones, percepciones y creencias que modifican las decisiones financieras también existen factores externos como el estado de ánimo social que pueden influir como una variable biopsicosocial ambiental en la toma de decisiones representando y mostrando una tolerancia a los riesgos financieros distinta la cual está en función del estado de ánimo social y la especulación en el mercado y en las redes inter e intraorganizacionales. (Roszkowski & Grable 2007).

Si bien no se pueden evitar las que las emociones influyan en las decisiones ya que ellas están ligadas a la naturaleza humana se pueden tomar medidas estratégicas para la cobertura de riesgos de forma técnica e inteligente, realizando un análisis complejo abordando variables y agentes relevantes no solo desde una forma numérica sino desde una perspectiva de entorno reuniendo variables psicosociales que pueden influir negativa o positivamente.

En consecuencia, existen muchos factores como el riesgo, volatilidad, entre otros que pueden ser solo manejados desde un punto reducido y lineal. Sino como un todo complejo valorando factores psicosociales, eventos y agentes relevantes los cuales pueden fluctuar y distorsionar impulsando o mermando el comportamiento de los agentes

## CONCLUSIÓN

Las finanzas fluctúan en un mundo dinámico e incierto el cual no es lineal, fluctúan bajo fuerzas y factores endógenos y exógenos, las cuales son características de

sistemas complejos. Por lo que se puede afirmar que las finanzas son complejas; además estas fuerzas permiten gestionar la incertidumbre y dirigir las perspectivas y decisiones de los inversionistas hacia campos no lineales poniendo en juego no solo su conocimiento y experiencia, sino factores psicosociales los cuales influyen e impactan en el entorno de forma positiva y negativa. Se necesitan estrategias de manejo que permitan identificar estructuras de caos dentro del sistema, las cuales puedan gestar la incertidumbre del entorno proponiendo análisis y perspectivas para administrar los riesgos convirtiéndolos en oportunidades positivas para las corporaciones y mercados financieros.

## Referencias

- Álvarez Piedrahita, Iván (2002). Finanzas Estratégicas Y Creación De Valor. Financial Publishing. Colombia.
- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J.-M. & Heath, D. (1999), Coherent Measures of Risk. *Mathematical Finance*, 9, 203-228. <https://doi.org/10.1111/1467-9965.00068>
- Beckert, J. (2013). Imagined futures: fictional expectations in the economy. *Theor Soc* 42, 219-240. <https://doi.org/10.1007/s11186-013-9191-2>
- Froot, K., Scharfstein, D. & Stein, J., (1993). Risk Management: Coordinating Corporate Investment and Financing Policies', *Journal of Finance*, 48, 1629- 58. <https://doi.org/10.1111/J.1540-6261.1993.Tb05123.X>
- Fender, I. & Mitchell, J. (2005) Structured Finance: Complexity, Risk and the use of Rating, *BIS Quarterly Review*, 66-78
- Grable, J. & Roszkowski M. (2007) Self-Assessments of Risk Tolerance by Women and Men. *Psychological Reports*. 100. 795-802. Doi: 10.2466 / Pr0.100.3.795-802
- Jiang, X., Chen, T. & Zheng, B. (2014) Structure of Local Interactions in Complex Financial Dynamics. *Sci Rep*. 4, 5321 <https://doi.org/10.1038/Srep05321>
- Pixley, J. (2002). Emotions and Economics. *The Sociological Review*, 50, 69-89. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.2002.tb03592.x>
- Pompian, M. (2006) .Behavioral Finance and Wealth Management: How to Build Optimal Portfolios for Private Clients
- Pompian, M. (2011). Behavioral Finance and Wealth Management: How to Build Investment Strategies That Account For Investor Biases
- Kryvovyazyuk, I, Smerichevskyi, S., Myshko, O., Oleksandrenko, I., Dorosh, & V., Visyna, T. (2020). Application of Combined Modeling Methods for Estimating and Forecasting the Business Value of International Corporations. *International Journal of Management*, 11, 1000-1007, Doi: 10.34218/Ijm.11.7.2020.087
- Ramírez C., Carbal, A., & Zambrano, A. (2012). La Creación De Valor En Las Empresas. *Saber, Ciencia Y Libertad*, 7(1), 159-169. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/Saber.2012v7n1.1795>
- Sornette, D. (2004). A Complex View Of The System Of Why The Stock Markets Shock, *Chair of Entrepreneurial Risks*, 1, 5-18
- Sornette, D. (1998). Discrete scale invariance and complex dimensions, *Physics Reports*, 297, 239-270.
- Sornette, D. & W.-X. Zhou (2003) Predictability of Large Future Changes in Complex Systems, Submitted to *Phys. Rev. Lett.* (<http://arXiv.org/abs/cond-mat/0304601>)
- Steven L. & Schwarcz, (2009) Regulate Financial Complexity Markets *Washington University Law Review*, 87, 211
- Vitari, C. & Raguseo, E. (2016). Digital Data, Dynamic Capability and Financial Performance: An Empirical Investigation in the era of Big Data. *Systèmes D'information & Management*. 21, 63- 92 <https://doi.org/10.3917/Sim.163.0063>



FACULTAD DE



ECONOMIA

# ***Ciencias de la complejidad***

Revista de la Unidad de Investigación  
de la Facultad de Economía de la UNSA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN  
DE AREQUIPA**

Facultad de Economía

Unidad de investigación de la Facultad de Economía

[cienciasdelacomplejidad@unsa.edu.pe](mailto:cienciasdelacomplejidad@unsa.edu.pe)

<http://fec.unsa.edu.pe/revista-ciencias-de-la-complejidad/>

[www.unsa.edu.pe](http://www.unsa.edu.pe)

Arequipa - Perú