

CAPÍTULO 5

LA ENSEÑANZA DE LA INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA

Por Leonardo Datri y Ana Faggi

Un beduino hizo testamento invocando a Alá para que sus hijos cumplieran su voluntad. Tenía que repartir sus camellos entre sus tres hijos y llegó a la siguiente distribución: el mayor recibiría $1/2$ de los camellos, el segundo $1/4$ y el último $1/6$. Pero cuando murió el beduino solo quedaban 11 camellos. El mayor pretendía tener 6, pero naturalmente sus hermanos se opusieron pues era más de la mitad. Llevaron la cuestión a un sabio juez y éste dictaminó: "Voy a poner a vuestra disposición uno de mis camellos, el cual, según la voluntad de Alá, deberéis devolverme tan pronto como podáis". Así pudo realizarse sin dificultades el reparto de los 12 animales según deseos del padre: 6 para el mayor, 3 para el segundo y 2 para el menor de los hermanos. Con esta solución sobraba uno ($6+3+2 = 11$), que por tanto "podía" ser devuelto al juez. "Los once camellos de la herencia del beduino" (Relato popular)

El desafío de la enseñanza de metodologías de investigación en el marco de carreras de ingeniería en nuestro tiempo no difiere del que representa la propia formación profesional en tiempos de complejidad. La tecnología, y en consecuencia las ingenierías, hijas dilectas de la ciencia, no escapan al cambio de paradigma de las llamadas ciencias “exactas” por el de las ciencias de la complejidad. Esto significa que las ciencias básicas como la física y la química, principalmente, están transformando algunos de sus métodos deterministas por nuevas perspectivas probabilísticas. A su vez, en un contexto en el que de los siglos diecinueve y veinte emergen nuevas teorías, como la evolución darwinista, y disciplinas derivadas de los problemas de la sociedad post Revolución industrial, como la economía y la sociología, que requerían nuevas explicaciones para nuevas preguntas, la climatología, la ecología, la biología molecular, la agronomía o el urbanismo surgen o se refundan como consecuencia de los avances alcanzados en las ciencias básicas. Y los nuevos escenarios sociales, con sus implicancias en la producción de nuevas tecnologías aplicadas, impulsan nuevos y cada vez más efectivos y específicos métodos de investigación de sus disciplinas en estos tiempos.

¿Pero qué tiene que ver esto con la complejidad? Que las respuestas que requieren los nuevos problemas que enfrentaba la sociedad postindustrial no se pueden satisfacer con los métodos de la ciencia tradicional basada en “leyes” y en las “certezas” que su aplicación al desarrollo de conocimiento y explicaciones conlleva (Lewin, 1992). Los nuevos problemas incluyen multiplicidad de variables y efectos cruzados, por lo que son intrínsecamente interdisciplinarios, y casi todos enfrentan un inconveniente paradójicamente relacionado con una de las “más exactas” de las ciencias básicas: la física (Gribbin, 2004). Se trata del problema de los tres cuerpos. Parece que “la física guarda algo debajo de la alfombra” (la expresión corresponde al astrofísico John Gribbin) ¿Cuál es el problema? ¿Qué tiene que ver

con el clima o con otros sistemas compuestos de muchos elementos interdependientes como los que enfrentan las ciencias modernas?

Las leyes de Newton, incluida la gravedad, permite perfectamente calcular las órbitas de dos objetos que giran uno alrededor de otro en un universo vacío como la luna alrededor de la tierra o la tierra alrededor del sol. Pero estas leyes no pueden dar una respuesta “exacta” para cálculos que se refieren a tres o más objetos en movimiento sometidos a una atracción gravitatoria mutua. Ejemplo: el sistema tierra-luna-sol en su movimiento conjunto a través del espacio. Las ecuaciones que describen este sistema pueden escribirse, pero no son integrables, no tienen solución analítica. Las que se pueden resolver se dice que son “deterministas”, como “lo pretende ser la ciencia tradicional y las mal llamadas ciencias exactas (ya no tan exactas) o duras (no tan duras)”. Hay una forma de soslayar el problema, pero esto implica un cambio de enfoque” (Gribbin, 2004).

El sistema asume que los cálculos se hacen por separado, asumiendo que un cuerpo está inmóvil, mientras se realiza el cálculo para los otros dos y así sucesivamente con el otro cuerpo, en forma repetida. El cálculo “no es exacto”, pero aproxima bastante si los pasos temporales se hacen lo suficientemente pequeños. La solución que encontró Laplace sobre fines del siglo dieciocho, a partir de un procedimiento de sucesivas correcciones paso a paso, permitió no solo encontrar una solución a las órbitas de los planetas más grandes del sistema solar (Júpiter y Saturno) para los cuales las ecuaciones y la fe religiosa no eran suficientes. De hecho, hasta el día de hoy esta forma de solución es relevante para encontrar puntos de equilibrio en la localización de satélites en el espacio. Pero volviendo al tema, éste es tan solo un pequeño inconveniente para la ciencia determinista (Gribbin, 2004).

Complejo no es complicado

Se escucha cada vez con más frecuencia que algo es “complejo”. Parece ser que ahora todo es complejo. Paso seguido esto pareciera que sirve de excusa a que “no tiene solución” o que su resolución es “muy complicada”. Más aún, ya existen posiciones de filósofos destacados y hasta científicos que aseguran que los sistemas complejos no pueden ser “explicados”, solo “interpretados”. Esto es falso. Como también las posiciones que tratan a la física moderna y a las ciencias naturales en general de oscurantistas frente a dilemas como el de los tres cuerpos u otros derivados de la relatividad (García se refiere así a las críticas del filósofo francés Edgar Morin sobre la física clásica). La teoría del caos, aunque aún no tan aceptada, ya cuenta con un amplio desarrollo metodológico y varios campos de la ciencia como las neurociencias, la biología y la informática, que viven una época de extraordinarios progresos. La clave es cierto giro de las ciencias hacia modelos menos basados en el determinismo y más proclives al “probabilismo”. De hecho, el campo de la física probabilística experimentó un gran progreso de la mano de la Escuela de Bruselas de Illya Prigogine. Rolando García (2006) nos trae un caso de la biología molecular perteneciente a los canales sinápticos:

el caso de las transmisiones neuronales en los canales de calcio. Allí se ha descubierto que una proteína específica (la proteína G) actúa como inhibidor de los movimientos de sensores de voltaje en la apertura del canal. En este hallazgo se han articulado tres disciplinas (biología, física y química). A través de una interacción entre procesos biofísicos y procesos bioquímicos, integrados en un mecanismo biológico, ha sido posible explicar la apertura o cierre de los canales neuronales. Para llegar a explicar un mecanismo de gran complejidad, fue necesario desarrollar instrumentos de laboratorio capaces de detectar cambios ocurridos en una escala temporal de milésimas

de segundo. ¿Dónde está el "oscurecimiento" y el "desorden" en la articulación de las disciplinas que, con tan preciso dispositivo experimental, permiten ir corroborando teorías sobre el funcionamiento del cerebro humano? (p. 20).

Esto sin embargo obliga a una nueva definición de sistema. Porque una ciencia probabilística no solo requiere de "otra matemática y estadística". También requerirá de nuevos enfoques (epistemologías) y metodologías (Denegri, 2003). El enfoque que se impone es el de "sistema complejo". "Un sistema complejo es un sistema en el cual los procesos que determinan su funcionamiento son el resultado de la confluencia de múltiples factores que interactúan de tal manera que el sistema no es descomponible sino solo semi-descomponible. Por lo tanto, ningún sistema complejo puede ser descrito por la simple adición de estudios independientes sobre cada uno de sus componentes" (García, 2006; Sametband, 1999).

La no-descomponibilidad de un sistema complejo implica la interdefinibilidad de sus componentes. Esto quiere decir que la "complejidad" no está determinada solo por la heterogeneidad de las partes del sistema, sino por la interdefinibilidad y mutua dependencia de las funciones que desempeñan dentro de una totalidad. Una función en un sistema no es independiente, por eso para estudiar un sistema complejo es necesario establecer series temporales que exhiban las diversas organizaciones de los elementos del sistema en los estados correspondientes a cada corte. Los cambios observados en la sucesión o estados de formas organizativas comprenden la base de las inferencias que permiten conjeturar un primer análisis. Los procesos establecidos a lo largo de toda la serie temporal permiten analizar los estados sucesivos, y esto aun así no significa un procedimiento unidireccional. Por ello se trata de proceso dialéctico de interdefinibilidad a través de la cual los estados y las transiciones se distinguen y expresan el

funcionamiento del sistema (García, 2006). La constatación de relaciones y la inferencia de cambios a lo largo del tiempo epistemológicamente comprenden el mecanismo de producción de conocimiento (Datri y Gandini, 2024) y el marco para el abordaje de sistemas complejos. La función está siempre ligada a un proceso en particular (y temporal) que, junto con otras funciones y otros elementos, participa en el proceso general del sistema total. Esto configura el funcionamiento del sistema y la importancia de la flecha de tiempo en su estudio (Sametband, 1999).

Ahora los elementos ya no son elementos simplemente. Ahora son “subsistemas”, fundamentalmente dependiendo de la escala espacio-temporal con la que se analice al sistema global, donde cada elemento encierra una o múltiples funciones de acuerdo a cómo se delimite el sistema en todas sus dimensiones. Las estructuras no son estáticas desde nuestra perspectiva porque en este enfoque son importantes los “procesos de estructuración”. La estructura es simplemente el conjunto de relaciones que caracteriza al sistema como una totalidad organizada en un momento dado y dan identidad al sistema como producto de su historia. Por este motivo es necesario encontrar los vínculos y las interacciones entre los elementos-subsistemas que configuran al sistema global que se analiza. De ello depende la organización interna, que es el resultado de la evolución de procesos internos a través del tiempo. En este sentido, se deben tener en cuenta distintos niveles o escalas de abordaje de sistemas complejos (Datri y Gandini, 2024; García, 2006). Por un lado, a) el análisis de los procesos que ocurren dentro de cada elemento-subsistema que determinan la clase de relaciones con el resto del sistema. Y por otro, b) el análisis de los procesos que tienen lugar en el sistema como un todo y que están determinados por las interrelaciones entre los subsistemas, e identifican al sistema en su totalidad con sus “propiedades emergentes”.

El hecho de que los procesos a escala de a) y de b) sean “interdependientes”, como se había definido antes, no significa que todo deba ser estudiado simultáneamente. Un error común del holismo exacerbado es justamente creer que un sistema complejo es un sistema que funciona como tal con independencia de sus partes. Y éste es un error común en muchas metodologías de abordaje de sistemas ambientales. Pero el reduccionismo tradicional de la ciencia también es incompleto, y en este sentido los “modelos tradicionales de la ciencia” son insuficientes para la definición de las funciones en los sistemas complejos (García, 2000).

Ahora puede decirse que un sistema es la representación de un recorte de la realidad. Los elementos-subsistemas se expresan en abstracciones y conceptualizaciones del material empírico: observables, hechos, proceso; todos ellos tomados del dominio de la investigación. La organización del material empírico se realiza a partir de inferencias con las cuales se vinculan los procesos que caracterizan el funcionamiento del sistema. Los observables son el resultado de “registros perceptivos” que requieren haber establecido un cierto grado de elaboración de la simple percepción, por elemental que sea esa elaboración. Los hechos son observables relacionados e interpretados. Y esto es muy importante, porque mientras que la significación de un observable es espacial y temporalmente local, “los hechos son observables relacionados en un contexto más amplio”. Un proceso es un cambio, o una serie de cambios, como relaciones causales entre hechos y a través del tiempo. Ninguna relación, al igual que ningún observable, es resultado de la experiencia directa, son abstracciones de la realidad (Klimovsky, 1995).

Estrategia de enseñanza basada en un programa de diagnóstico

La ciencia y la ingeniería en particular viven de modelos. Sus misiones son modelar. Es decir, llevar la realidad a explicaciones simplificadas. El gen, el átomo, un mapa, el ecosistema y la conciencia son modelos. Tan simplificados son que un átomo no es lo que habitualmente se ve gráficamente en los libros. Su mayor aproximación a través de un microscopio de efecto túnel es muy reciente dado que la longitud de onda de la luz visible es sensiblemente unas dos mil veces mayor al diámetro de un átomo promedio. El gen tampoco es la elegante doble hélice, es algo más desgarbada. Pero si un sistema es todo conjunto organizado físico, biológico o social, que tiene propiedades como totalidad (que no son propiedades de sus elementos tomados aisladamente), la organización del sistema no queda determinada solamente por su estructura. Las funciones generales dicen algo...

La elaboración de un programa de abordaje de un sistema en estudio requiere de una investigación específica que tiene analogías y diferencias con los estudios de diagnóstico. Por ello se propone incorporar en los modelos pedagógicos al método científico, para que los estudiantes puedan además de construir el conocimiento basado en casos o problemas de estudio, desarrollar habilidades de modelación diagnóstica y de sistemas complejos (Kauchak y Egen, 2012). Si bien la transición de una investigación diagnóstica al estudio profundo no es lineal, es posible volver repetidamente al diagnóstico en el análisis de cada propuesta de cambio (transiciones y estados del sistema estudiado), para investigar aspectos no considerados anteriormente. La dificultad reside en el juego de interacciones entre procesos con dinámicas divergentes o diversas y a diferentes escalas temporales (que es una propiedad de todo sistema complejo). Pero esta dificultad es el sustrato de indagación que

propone para los estudiantes, que inician con un problema-pregunta. Por ejemplo, este caso: ¿Cuál es la mejor distribución de una infraestructura verde azul de una ciudad densamente poblada?

Se trata de organizar la información y producir un modelo espacial, evitando derrochar tiempo y una mala delimitación del problema o el sistema que se busca modelar. En el caso-problema mencionado se trata de una ciudad que busca una transformación de sus infraestructuras de espacios verdes y drenajes convencionales por un sistema basado en diseños sustentables y rescate de funciones ecosistémicas. Y hay que traer aquí los conceptos de cuencas y espacios verdes. El desafío de este trabajo es encontrar la forma de delimitar variables no solo físicamente, sino también conceptual y operativamente. ¿Qué quiere decir esto? Sin abundar en el marco teórico de las infraestructuras verde-azules (cosa que los estudiantes deberán hacer inicialmente), los espacios verdes desde una concepción funcional no solo proveen de espacios vegetados recreativos y para socialización en la ciudad, sino que también poseen funciones ecosistémicas más amplias, entre ellas las de fijar carbono, mejorar la infiltración del suelo y regular la temperatura del clima urbano. Para asegurar esto, se requiere un análisis a escalas superiores al concepto del propio espacio verde, como por ejemplo el de isla térmica urbana o cuenca hidrográfica.

La isla térmica no solo depende de la superficie del o los espacios verdes, sino que también de la densidad construida, su materialidad, el tamaño del “cañón” vial e incluso la proximidad a otro espacio verde o a cuerpos de agua. Este es un buen ejemplo para graficar cómo el sistema “espacio verde” queda comprendido por variables de dimensiones ajenas a la “vegetación” o el “acceso público”. Lo que a nivel de espacio verde es un proceso puntual (regulación térmica), a nivel de isla térmica puede ser un patrón (la repetición espacial de espacios verdes a determinadas distancias

puede configurar un factor de regulación... ¡o no!). Las funciones del espacio construido y el verde se retroalimentan y sus eficiencias térmicas dependen de cómo interactúan todas sus variables. Y esto es un sistema complejo en sí mismo, porque hay juegos de escalas espaciales y temporales. La función del espacio verde queda delimitada por la eficiencia de su función en el tiempo (si tuvo más verde en el pasado o cambió su materialidad en el tiempo) y la evolución del espacio (entorno construido).

Pero en este caso convoca el drenaje urbano. Y otra vez, se cuenta con un conflicto de escalas: los espacios verdes vs. la o las cuencas. Un espacio verde, e incluso varios espacios verdes próximos, no es una buena definición espacial si el objetivo es transformarlos para que sus funciones de infiltración y drenaje contribuyan eficientemente a la hidráulica urbana (así está planteado el problema). Por ello es tan importante la definición inicial del problema. Y como casi todo en la vida, es importante para ello contar con una buena pregunta. Nuevamente, y previo a dirimir la mejor escala espacial, un buen marco teórico deberá justificar qué cuencas y por qué comprenden el estudio. Escalas de subsistemas imbricados configuran lo que se llama un sistema complejo y, al igual que el ejemplo de la isla térmica, el sistema drenaje urbano y espacios verdes, poseen “propiedades emergentes” que pueden sintetizarse en la frase de que la eficiencia térmica e hidrológica de la ciudad dependerá de la interacción de sus espacios verdes con el drenaje de sus cuencas y la isla térmica. A mayor superficie de espacios verdes, menor efecto de la isla de calor. Y a mayor distribución de espacios verdes a lo largo de sus redes de drenaje, mejor evacuación de sus aguas pluviales. Ya se tiene una buena hipótesis de trabajo: se han encontrado propiedades emergentes, condición necesaria para saber si se está frente a un sistema complejo. Sus partes no descomponibles ya están delimitadas en el marco teórico. Ahora se dará paso a las variables.

Como se ha mencionado, ya se tiene un problema-pregunta, objetivo, un marco teórico y hasta una hipótesis de trabajo. Si bien el problema y el objetivo traen implícitamente la escala del sistema que se estudiará, el marco teórico definirá en este caso el marco geográfico, espacial y conceptual, partiendo de la base de que nuestros estudiantes poseen ya cierto entrenamiento y la orientación para desarrollar la construcción del marco teórico. Se puede incluso jugar con la idea de que el rol docente simula al de un comitente o un centro de investigación especializado, con lo que el trabajo ya trae aparejado cierta orientación operativa y conceptual, pero siempre implícita para fomentar debates y exploraciones puntuales. Pero, como se vio, no existe una definición de los hechos que no esté procesada bajo la influencia de la información previa disponible. ¿Es clara esa información? ¿Está organizada? ¿A qué conceptos hay que adherir y a cuáles no? ¿Todos entienden lo mismo por infraestructura verde-azul? Por esta razón, previo al abordaje de cualquier sistema y su posterior modelización se requiere de información, específicamente de buenas lecturas sobre el tema a abordar. Y si se trata de sistemas complejos, de un buen nivel de intercambio y diálogo con otras disciplinas, más allá de la propia. Y recordar que los sistemas complejos y los sistemas ambientales complejos requieren de la construcción de marcos epistémicos y metodológicos comunes. Esto es decir que es necesario construir metodologías de abordaje específicas para cada sistema, ya que el sistema no se es dado (García, 2000).

¿Y qué hay del margen de error? Sabiendo lo impreciso de la conceptualización o de los instrumentos de medición, ¿cuál es el margen de error que se está dispuesto a aceptar? Después de todo, modelar es simplificar. ¿Se podrán identificar las escalas, las variables y la dinámica que opera y que introduce complejidad, y “reducir” al sistema representado en el modelo al nivel más aproximado a la realidad posible? Estas son definiciones que también

deben ser tenidas en cuenta y predefinidas, incluido el margen de error (Sametband, 1999). Como guía “orientativa” se presentan demasiadas preguntas, pero a no temer. Cualquier respuesta seguramente es válida. En este punto se invita a discutir, y también con las teorías. En definitiva, tendrán que tomar partido por alguna de las tantas ideas que andan dando vueltas, incluidas las de los críticos de los modelos. En el estudio de dinámicas espaciales existen varios estadísticos para predecir el error, como el coeficiente de Kappa, pero en este caso particular que planteamos, contrastar el trabajo de gabinete con datos de campo puede ser una buena forma de cálculo de ese error. Recordar siempre que el estudio de sistemas complejos implica necesariamente una probabilidad estadística (por ejemplo, rango aproximado de localización de espacios verdes o precisión de clasificaciones).

Ya se tiene claro un objetivo y ciertos límites del sistema. Se les llama límites del sistema al alcance que tendrá el estudio, porque un sistema no tiene límites de por sí, es solo una fracción del universo. Ese recorte es propio, pero con un objetivo, y éstos no cambian a lo largo del estudio. Se deben tener en cuenta las condiciones iniciales del sistema y sus condiciones de funcionamiento o dinámica. Siempre es necesario el abordaje del proceso y no de un estado en particular, porque es del proceso donde se obtendrá más información. El modelo debe analizar qué estadísticos son necesarios para evaluar correctamente al sistema en estudio, como por ejemplo los tiempos de recurrencia de precipitaciones extraordinarias, los tamaños de los espacios verdes, tiempos de residencia del agua en determinados medios, promedios, modas, desviaciones estándar, etc.

Habitualmente en esta etapa la bibliografía habla de “selección del método” o “elección del método”. En este punto, y en consonancia con el enfoque de los sistemas complejos, se abordará

el estudio del sistema que se busca modelar a partir de la idea de que no existe un camino para arribar a la mejor explicación del sistema. Puede afirmarse que un sistema es abordable desde una metodología que puede implicar la invocación de varios métodos, tantos como disciplinas puedan reunir las variables que lo definen. Hay que recordar que el sistema no es complejo tanto por la cantidad de elementos sino por las funciones que están en juego. Por eso, las variables no definirán por sí mismas qué disciplinas y qué métodos son necesarios, sino entre quienes se relacionan y establecen una o varias funciones. Ahora cabe la pregunta de qué variables definen al sistema y cómo, para poder avanzar en este punto. Antes que nada, podría decirse que aquí se puede establecer un “ida y vuelta”, en el que mientras se evalúan las variables, se construye la metodología. Pero es necesario ir buscando las herramientas analíticas de resolución.

Qué variables y qué parámetros se incluyen o cuáles son relevantes y cuáles no, es la tarea en esta etapa. Un primer paso es realizar una lista y luego un “primer” orden de importancia. Aquí es donde la metodología en construcción es relevante porque allí se definen las “especialidades” que se deben consultar o interactuar. Descartar una variable no es complicado, pero sobresimplificar al sistema es muy riesgoso. Todas las variables deben poder ser medibles y establecer la forma de medición es fundamental para estimar el error. Recordar que en un sistema dinámico la amplificación del error puede conllevar a problemas muy graves de predictibilidad. Las “estimaciones” son válidas, pero en un contexto estadístico claramente definido. Con límites más o menos precisos del sistema ya podrán establecerse variables endógenas (internas y controladas por el sistema) y exógenas (externas al sistema y fuera de su control).

En este punto y, a modo de cierre, una tabla resumen de proyecto

es un buen recurso para reunir la información y cerrar la actividad. Las columnas de la tabla deben resumir: a) los componentes del sistema (macrovariables que pueden agrupar a otras variables, como por ejemplo cuencas o vegetación); b) las variables (cobertura vegetal, precipitaciones); c) las fuentes de datos (como nuestro caso es un proyecto geoespacial, es decir que son datos asociados a coordenadas geográficas, referiremos a imágenes satelitales, fotografías aéreas, modelos digitales de elevación o mapas históricos con sus resoluciones espaciales y temporales); d) los productos (son el resultado de la integración de variables, por ejemplo, en zonas inundables es posible que exista una vegetación específica, que se puede reconocer e identificar cruzando variables y datos sobre la acumulación de agua y la cobertura vegetal); y e) las capas de información (constituyen la información generada y modelada, pueden ser mapas, modelos gráficos, numéricos o matemáticos, simulaciones pero también metadatos). Este último punto es crucial porque permite visualizar lo que se está proyectando o modelando. Son el resultado del proceso, pero también del entrecruzamiento de datos, y como en todo sistema complejo, del cruce de las escalas espacio-temporales. Un proyecto como el aquí presentado puede ser acompañado, y sería lo ideal, con el análisis de información por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG), visualizando imágenes y produciendo nuevos datos (NDVI, NDWI, entre otros).

Esto es todo, al menos para una clase introductoria a la modelización de sistemas complejos. Si bien el caso aquí planteado es un proyecto geoespacial, se puede aplicar al diseño o al modelado de procesos industriales, entre otros. Se trata simplemente de incorporar mecanismos de la investigación científica, como pasos iniciales para diagnosticar, explorar datos, modelar conceptos y formular proyectos. El proceso es largo y por momentos enfrenta una situación de vacíos importantes de información. Por eso es central tener a mano una buena pregunta, objetivos y hasta a veces

la propia hipótesis de partida para no naufragar en el intento. Lo demás es explorar, debatir y tomar decisiones.

Bibliografía consultada

- Datri, L. y Gandini, M. (2024) La teoría de la sucesión en perspectiva de la epistemología genética: análisis metateórico de la complejidad en Patagonia. *Interdisciplina*, 12 (en prensa).
- Denegri G. (2003) Breves reflexiones críticas sobre la utilidad de la epistemología para la tarea del científico profesional. *Nexos*, 10(17), 4-5
- García, R. (2000). Sistemas Ambientales Complejos. *Educación en Ambiente y Desarrollo Sustentable*. CTERA, Escuela Marina Vilte, Syndicat National des Enseignants de Second Degré (pp. 39-66).
- García R. (2006) *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. GEDISA.
- García, R. (2013). Investigación interdisciplinaria de sistemas complejos: lecciones del cambio climático. *Interdisciplina*, 1(1). <https://www.revistas.unam.mx/index.php/inter/article/view/46545>
- Gribbin J. (2004). *Así de simple. El caos, la complejidad y la aparición de la vida*. Crítica, pp 267-303.
- Kauchak, D. y Eggen, P. (2012). *Learning and teaching: research-based methods* (6th ed.). Pearson.

Klimovsky, G. (1995). *Las desventuras del conocimiento científico*. AZ Editora.

Lewin, R. (1992). *Complejidad. El caos como generador de orden*. Tusquest.

Sametband, M. J. (1999). *Entre el orden y el caos: la complejidad*. Fondo de Cultura Económica.