

Ciencia y humanismo, capacidad creadora y enajenación

Germinal Cocho

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México

José Luis Gutiérrez

*Posgrado en Dinámica no lineal y Sistemas Complejos
Universidad de la Ciudad de México*

Pedro Miramontes*

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

I. DEL IMPERIALISMO DE LA FÍSICA

Desde finales del Renacimiento, la reina de las ciencias ha sido la física. A semejanza de Napoleón en Nôtre Dame, los físicos tomaron la corona, la colocaron sobre sus cabezas y proclamaron a su disciplina como el modelo para el estudio de la naturaleza. Las leyes de la física son generales; sus teorías, sólidas; su formulación matemática, robusta y elegante. Con base en unos cuantos principios primordiales, sus métodos permiten predecir el comportamiento de la materia en un rango que cubre desde lo inconcebiblemente pequeño, la escala de Planck, hasta las pasmosas magnitudes de los objetos cósmicos. Además de que éstas son razones suficientes para aceptar que la corona está bien puesta, la revolución intelectual racionalista había librado, para beneficio del intelecto humano, las grandes batallas que legitimaron la coronación.

Luego de que la humanidad buscara durante miles de años explicaciones para todo en la voluntad divina, los pensadores del seiscientos deciden dejar a Dios en el fondo, convertirlo en parte del paisaje ideológico y volverse hacia sí mismos. Abrevando en las grandes corrientes del pensamiento griego, recuperan la confianza en su aptitud para comprender y transformar el mundo. Entre el descubrimiento galileano de las lunas de Júpiter y esa “vasta inteligencia” de Laplace —capaz de conocer el estado de todas las partículas del universo y, mediante las leyes de Newton, calcular su evolución presente, pasada y futura— hay doscientos años en los que crece la certeza de que el universo obedece leyes naturales y de que la razón, atributo máximo de nuestra especie, es capaz de descubrirlas y aprovecharlas en beneficio propio.

Esta certidumbre transtorna al mundo en todos sus aspectos; en fase con las aspiraciones de la burguesía emergente, pronta a tomarse el poder político sobre las ruinas de las instituciones feudales, el culto a la razón sustituye al de la divinidad e influye cada aspecto de la vida. Hechos a un lado los prejuicios teológicos y metafísicos de la Edad Media, todo el conocimiento habría de ser reconstruido sobre bases distintas.

Hasta entonces, las supersticiones habían hallado en la ignorancia su mejor caldo de cultivo y habían propiciado que el poder político, anclado y confundido con el de las jerarquías religiosas, avasallara a los individuos y los sometiera a los peores excesos: sobre la base del miedo generalizado a lo sobrenatural, mediante auténticos crímenes contra la humanidad, el aparato de poder había creado un estado de terror para someter a la gente.

La exaltación de la razón por encima de los dogmas y su implacable ejercicio crítico fueron un fermento subversivo cuya acción dio lugar a una revolución de las conciencias y produjo el racionalismo como doctrina filosófica y como actitud ante la vida; ambas se levantaron sobre tres principios explicativos generales:

- El materialista: hay un mundo real, independiente de la percepción de los seres humanos; un mundo con cualidades esenciales, un universo que puede reducirse, en última instancia, a materia.
- El mecanicista: todo lo que sucede ocurre merced a fuerzas que operan sobre los cuerpos y producen movimiento. El espacio y el tiempo son absolutos.
- El determinista: dado el supuesto anterior, como la maquinaria no puede desobedecer las leyes que la rigen, todo en el universo está determinado, independientemente de si puede o no calcularse.

En su lucha contra el antiguo régimen, la burguesía se adueñó del discurso racionalista para minar las bases de la estructura feudal y, una vez en el poder, lo utilizó para perpetuarse en él exacerbando las consecuencias de sus principios generales (los defensores contemporáneos del sistema hegemónico de nuestros días sólo han refinado los mismos argumentos): desde la interpretación espuria de los capitalistas, en la dinámica social las mercancías importan más que los seres humanos y el máximo valor es la ganancia; los flujos de dinero y las leyes del comercio determinan el destino de hombres y mujeres: los convierten en el vehículo mediante el cual las mercancías garantizan la producción de más mercancías. Así, la burguesía conservadora sustituye la voluntad de Dios por la ley de los mercados.

Como tantas veces en la historia, la clase revolucionaria impulsa primero el cambio, le da legitimidad y lo

*Electronic address: pmv@fciencias.unam.mx

abandera; después, lo detiene y lo traiciona. De su programa original, purga las componentes revolucionarias, ahora subversivas, para luego evitar más cambios, echando mano de todo lo que esté a su alcance con tal de perpetuarse en el poder.

Así, el racionalismo, enajenado a su favor por los nuevos dueños del mundo, se aplicó entonces a postular normas para todo: desde el arte hasta la vida íntima de las personas; su potencia liberadora fue encauzada para evitar que pudiera servir como instrumento en contra del orden establecido, del mismo modo en que había contribuido a socavar la autoridad de la Iglesia y la monarquía. Surge entonces una nueva casta sacerdotal, la de los científicos.

La formación típica de un científico demanda, con frecuencia, dejar fuera cualquier preocupación ajena a los propios estudios; así, recibe un entrenamiento intenso mediante el cual aprende a investigar en su campo con la mayor eficiencia posible; su visión del mundo se restringe conforme acumula distinciones y grados académicos y, finalmente, llega a dominar el estado del arte en su rama de especialización sin enterarse de otra cosa. Es así como mejor sirve al sistema.

Este proceso reduce tanto la mira del científico que, como los monjes, sólo ve al mundo desde la estrechez de la ventana de su celda. Por ello, Thomas Kuhn ha dicho que nadie puede ser más parecido a un teólogo medieval, a un padre de la santa madre iglesia, que un doctor en ciencias. Además, la actitud pontifical es la misma, su visión del mundo y sus opiniones devienen dogmas; son los ministros de la nueva religión, tienen el reconocimiento social garantizado, se incorporan a los organismos del poder constituido y, consciente o inconscientemente, suelen extrapolar los métodos del reduccionismo para dar soporte ideológico al *statu quo* sin tomar en cuenta las limitaciones de su herramienta conceptual.

Preguntemos ahora si éste es el camino correcto hacia la comprensión del mundo y preguntemos también, con más énfasis, si la pretensión de la física imperialista es correcta y debe seguirse su ejemplo al estudiar la realidad social y las distintas expresiones del espíritu humano. Desde nuestra perspectiva, y desde la de los físicos Goldenfeld y Kadanoff la respuesta es negativa:

Las ideas que constituyen los cimientos de nuestra visión del mundo son en verdad bastante simples: el mundo respeta las leyes y éstas rigen dondequiera. Todo es simple, diáfano y se puede expresar en términos matemáticos, ya sea mediante ecuaciones diferenciales parciales u ordinarias... Todo es simple y diáfano, excepto, desde luego, el mundo. (Goldenfeld y Kadanoff, 1999: 87).

¿Qué hacer entonces? queda claro que los intentos de interpretar los procesos humanos —desde la conciencia de los individuos hasta la historia o la evolución cultural de los pueblos— con la herramienta del reduccionismo

mecanicista son un despropósito y empeñarse en defender su validez, una necesidad. El porqué es simple: hasta el último tercio del siglo XX, la física se había construido con base en postulados simplificadores sin posibilidad de analogías válidas en un mundo característicamente complejo.

II. LA MATEMÁTICA DEL MUNDO DEL MAÑANA

Para abordar la complejidad del mundo impícita en la cita de Goldenfeld y Kadanoff, disponemos de los avances de la física teórica contemporánea y de su herramienta, lenguaje y método: la matemática. Aquí es necesario despejar algunas dudas y aclarar una serie de confusiones muy difundidas acerca de la esencia de la misma.

Medir es una de las operaciones más primarias para relacionar la realidad física con el mundo de abstracciones que forman el universo matemático, pero restringir los alcances de esta ciencia a la búsqueda del rigor en las mediciones corresponde a la visión positivista baconiana según la cual sólo lo que puede registrarse empíricamente (i.e., medirse) puede conocerse.

Ni siquiera en el trabajo galileano, medir tuvo tal importancia y cuando a Einstein se le preguntaba por “su laboratorio”, mostraba orgulloso la estilográfica en el bolsillo de la camisa: las grandes teorías de la ciencia se han construido sobre bases matemáticas, sí, pero eso no tiene que ver con la pretensión de exactitud en las mediciones sino con las posibilidades de plantear hipótesis sobre cómo ocurre algo en la naturaleza, deducir las consecuencias en el ámbito de los formalismos matemáticos y confrontar las consecuencias con lo que realmente sucede (en donde, posiblemente, el medir cobre importancia) para refutar o no las hipótesis. Esa es la gran lección de Galileo y, hoy como hace trescientos cincuenta años, sigue vigente:

Matematizar una disciplina es... penetrar los objetos de estudio con las herramientas para el pensamiento que nos da la matemática, es buscar en ellos lo esencial y acotar lo contingente, es aprender a reconocer las relaciones estructurales o dinámicas entre sus diversos elementos para deducir lo que no es evidente (Gutiérrez, 1999: 93).

En efecto, la matemática no es una colección de técnicas para medir y contar; su éxito como lenguaje de la ciencia está directamente vinculado con su capacidad inagotable para descubrir pautas y estructuras en donde la observación directa y la estadística —justificadora de prácticamente cualquier cosa— sólo puede acumular datos. De hecho, la estadística es el opuesto metodológico de las grandes construcciones teóricas, en particular de los sistemas como instrumentos para conocer el mundo, en los que se hace un corte para considerar las cosas como separadas y para volver a presentarlas, ya no como cosas solamente sino como cosas interrelacionadas.

La exigencia de medir con exactitud es, indudablemente, importante en la tecnología pero, ni así, puede verse como un elemento del método de la ciencia (ni de la tradicional ni de la emergente). En cambio, es parte del discurso pseudorracionalista del aparato de poder: algunas verdades a medias, una pila de prejuicios y otra de intenciones políticas, han servido de base para querer cubrir de “cientificidad” afirmaciones insostenibles. No obstante, ese tipo de argumentaciones gozan de un reconocimiento social muy alto en algunos círculos científicos, sociedades y escuelas, de la clase sacerdotal. Si un reporte de investigación no lleva pruebas de chi cuadrada o regresiones múltiples, podrá ser devuelto por los árbitros con un lacónico comentario acerca de su falta de objetividad o, peor aún, descalificándolo por poco científico.

La sobrevaloración de los métodos estadísticos es útil en la conservación del poder, lo mismo en los comités que aprueban programas de investigación que en las esferas de la política de los estados: recurriendo a los “datos duros” de la macroeconomía, por ejemplo, los tecnócratas venden la idea de bonanza económica mientras la gente común se muere de hambre. Pero, insistimos, nada de esto tiene que ver con el papel de la matemática en la ciencia.

III. SOBRE LA CRISIS DEL PARADIGMA DOMINANTE

En la escala astronómica, el tiempo y el espacio newtonianos fueron relativizados por Einstein y, en la atómica, fue necesario inventar la mecánica cuántica, ese “acto de desesperación” de Planck, para explicar la radiación del cuerpo negro. Pero no por eso las leyes de Newton dejaron de ser leyes ni por ello se desmoronó la física clásica. Rige, como el monarca de El Principito, exactamente donde y como le corresponde hacerlo si bien, siguiendo con el símil, sus dominios alcancen sólo una parcela de la realidad.

Con convulsiones periódicas, la matemática ha avanzado a lo largo de dos mil quinientos años a base de coraje: los pitagóricos vieron cómo se venía abajo la ilusión mística de la conmensurabilidad de dos magnitudes cualesquiera; Herón de Alejandría y siglos después Girolamo Cardano, descubrieron un número cuyo cuadrado es menos uno (la raíz imaginaria pura); Galois probó que es imposible resolver por radicales la ecuación general de quinto grado; Pierre Laurent Wantzel y Ferdinand von Lindemann demostraron la imposibilidad de cuadrar el círculo, duplicar el cubo y trisectar el ángulo usando sólo regla y compás; Riemann y Lobachevski construyeron geometrías que desafiaban la intuición alterando el quinto postulado de la geometría euclidea; Cantor probó que el infinito no es único sino que se puede formar una cadena infinita en la que el infinito de cada eslabón es más grande que el del anterior; Poincaré echó por tierra la ilusión de Laplace al descubrir que el determinismo de las leyes de Newton implica, bajo ciertas condiciones, una

impredictibilidad esencial,... cada ejemplo significó una crisis en el pensamiento matemático y, de cada una, la matemática salió fortalecida.

El teorema de Gödel merece ser considerado aparte: luego de casi un siglo de esfuerzos por establecer un conjunto de axiomas que le dieran a toda la matemática una base rigurosa, este matemático probó en 1931 que *en cualquier sistemalógico-formal, siempre hay una proposición indecidible; es decir, una proposición del sistema que no puede demostrarse a partir de los postulados iniciales*, de manera que no se puede garantizar que el mismo sistema no implique una contradicción.

Curiosamente, Gödel prueba su resultado dentro de un sistema formal y es válido porque el aparato lógico-matemático que lo sustenta es esencialmente robusto; no importa el oscuro recoveco de ese sistema en el cual se oculte el indecidible, el teorema es verdadero y porque lo es, el indecidible existe.

No hay una relación directa entre el teorema de Gödel y las capacidades de la matemática para comprender el mundo ni se deducen de él límites insalvables; de hecho, la ciencia ha crecido matematizándose y, en dos mil quinientos años de historia matemática, cada uno de sus grandes subsistemas —desde la geometría euclidea hasta la topología o la teoría de las probabilidades— ha sido construido sin haberse encontrado nunca una contradicción en el cuerpo axiomático y, si acaso se llegase a encontrar un indecidible, se puede siempre agregar al mismo cuerpo y la barrera, si acaso cabe llamarla así, se echa siempre más y más atrás. Por esto, como el Libro de Arena de Borges o la cadena de conjuntos de cardinalidad transfinita de Cantor, la matemática en sí misma es inagotable. Gödel encontró que no son imposibles las inconsistencias en los cuerpos axiomáticos pero, al descubrir sus limitaciones, dio también una prueba de la grandeza de la matemática, no de su debilidad.

Cabe entonces preguntarse, si el instrumental matemático ha sido hasta hoy la mejor herramienta de la física pero la extensión del método reduccionista —de utilidad inegable— es notoriamente insuficiente para comprender procesos de sistemas colectivos cuyas propiedades no pueden explicarse como el resultado de sumar comportamientos parciales, ¿hay una física y una matemática adecuadas para esta clase de sistemas? Las hay, se llaman física de los sistemas complejos y matemática de los sistemas dinámicos no lineales. En *Un discurso sobre las ciencias*, Boaventura de Sousa ubica correctamente la visión del mundo derivada de ellas y desarrollada intensamente en el último tercio del siglo XX, como un agente primordial de la crisis del paradigma científico dominante:

La cuarta condición teórica de la crisis... proviene de los avances del conocimiento en microfísica, química y biología durante los últimos veinte años. Permítaseme citar, a manera de ejemplo, los descubrimientos de Ilya Prigogine. Su teoría de las estructuras disipativas y su principio del 'orden mediante

fluctuaciones' estableció que, en los sistemas que funcionan lejos del equilibrio, la evolución se explica por fluctuaciones de energía que, en ciertos momentos no completamente predecibles, espontáneamente generan reacciones que, a su vez, mediante mecanismos no lineales, presionan al sistema más allá de su máximo límite de desequilibrio. La situación de bifurcación, es decir, el punto crítico en el cual la mínima fluctuación puede llevar a un nuevo estado, representa la potencialidad de los sistemas para ser atraídos hacia un nuevo estado de menor entropía. De este modo, la irreversibilidad de los sistemas abiertos significa que son producto de su historia (de Sousa: 24-25).

En efecto, frente la visión del mundo del mecanicismo reduccionista, estrechamente enfocado a una sola disciplina en alcances y aplicaciones (coto de una parte de la clase científica sacerdotal), la visión de los sistemas complejos provee una teoría transdisciplinaria e integradora, cualitativa y dialéctica; capaz de trascender *el estudio de las partes* para convertirse en un aparato para estudiar la *integración de las partes* en la cual lo más importante es comprender las propiedades emergentes como resultado de la interacción, en un sistema de elementos relativamente simples, de un comportamiento colectivo diferente del que presentan por separado los elementos del sistema. Y lo más notable es que, como la teoría de la relatividad, la física cuántica y el teorema de Gödel, esta nueva visión del mundo es también una consecuencia de lo que hemos llamado el "implacable ejercicio crítico" de la razón; en particular, es el resultado de una profunda aplicación de la matemática, uno de sus instrumentos más agudos. Así, el racionalismo sigue siendo el mejor instrumental que el ser humano ha construido para reflexionar sobre sí mismo y su entorno.

IV. LA REACCIÓN

A finales del XVIII, el movimiento romántico encabezaría la reacción contra las tendencias uniformizadoras del racionalismo neoclásico: del programa original de la revolución burguesa tomó la bandera de la libertad, exaltó al Yo y rechazó la posibilidad de explicar la naturaleza de manera única: sólo es posible que cada individuo la perciba intuitivamente y, en el intento por conocerla, prevalecen lo subjetivo, lo irracional y lo imaginativo. En la Naturphilosophie, Johann G. Fichte y Frederick Von Schelling, entre otros, dan cuerpo a una teoría del conocimiento consonante con aquellas tesis: a los postulados del materialismo, oponen un principio de unidad entre naturaleza y espíritu humano; éste, libre y eterno, escapa al grosero determinismo mecanicista; es preciso estudiar sus manifestaciones superiores, lo subconsciente, lo sentimental y lo místico.

Desde entonces, y hasta el presente, la actitud ante la ciencia se ha movido entre distintas formas de racionalismo y romanticismo: desde la confianza o la veneración complacientes, en un extremo de las oscilaciones, al rechazo total y la añoranza por un pasado míticamente ubicado en una era anterior a la Edad de la Razón, en el otro. Se mueve aún entre el culto al sistema de producción científica y tecnológica sin contexto —es decir, sin ubicar sus tendencias hegemónicas como resultado de la dirección impuesta por el aparato del poder económico dominante de nuestros días— y las posiciones de no pocos intelectuales que, en su ataque ciego a la ciencia, han hecho que vuelva por sus fueros la creencia en lo sobrenatural, en supersticiones y mitos cuya difusión, caldo de cultivo de la ignorancia, sólo puede servir al mismo aparato. Triste es la dicotomía: *la razón ajena a las emociones contra el sentimiento resuelto en misticismo*.

El pensamiento occidental se ha desarrollado, quizá desde la Revolución Francesa, en medio de un conflicto entre las ciencias y las humanidades. Estamos convencidos de que, si lo que nos importa es la gente y no las mercancías, es necesario potenciar la capacidad creadora de los seres humanos sobre la enajenación del sistema en favor de la economía de mercado. Esto pasa por resolver aquel conflicto. Hoy, por vez primera, empiezan a tenderse puentes para superar las diferencias pero también es hoy cuando la crítica neurótica al racionalismo gana más adeptos.

Puede ser que nos haya tocado vivir una de esas etapas de cambio rápido en la historia de las ideas en las que todo puede suceder. Nuestra responsabilidad como intelectuales no puede ser más grande: debemos contribuir, desde ambas riberas, a la construcción de esos puentes. El primer paso para hacerlo es, desde luego, evitar las actitudes arrogantes e identificar nuestras limitaciones. Antes de discutir cómo hacerlo, para allegarnos elementos de juicio y poder deducir una estrategia adecuada, es preciso referirnos a nuestro contexto histórico y a las tendencias que, en el mundo de hoy, pueden contribuir u obstaculizar el intento.

V. EL MUNDO HOY: CAMBIO RÁPIDO, REVOLUCIÓN PERMANENTE Y OBSOLESCENCIA

En la última década del siglo XX el mundo experimentó cambios profundos asociados con el fin de la era geopolítica bipolar: la caída de la Unión Soviética y el desmoronamiento del llamado "bloque socialista" condujeron al dominio absoluto, sin contrapesos, de la escena política y económica mundial por parte de los Estados Unidos de América y su capitalismo salvaje. El tránsito al mundo unipolar, lejos de aliviar las tensiones características de la Guerra Fría, trajo consigo relaciones aberrantes entre naciones, sociedades e individuos. El mundo se encuentra inmerso en una crisis generalizada y la metrópoli imperial hace de la guerra el método

para resolver los conflictos. El terrorismo no es sólo la acción desesperada de grupos extremistas minoritarios o fanáticos que desafían al poder constituido; es también, y con alcances destructivos muy superiores a los de su contraparte, la violencia sistemática contra pueblos enteros ejercida por los estados, como Israel y Estados Unidos, con el poder suficiente para hacerlo de manera impune.

Las personas viven bajo la presión sostenida de estar obligadas a ocuparse primero y casi exclusivamente por sobrevivir; por esto, la gente se encierra en sí misma y busca salidas individuales a sus problemas cotidianos. El trabajo enajenante despoja a grupos enormes de seres humanos de toda posibilidad de reflexión y educación intelectual; el desempleo, a su vez, las encadena a otra sumisión: la de la búsqueda cotidianamente incierta de los medios de sustento. Por ejemplo, en el Occidente pobre, la mujer sale de su casa al trabajo no por haberse liberado de la tradición opresiva que la confina al hogar y la somete al hombre, sino por la precariedad del ingreso familiar y la necesidad de asegurar su propia subsistencia y la de los suyos.

La sabiduría y el conocimiento son riqueza de otro tipo y, en relación con ella, se repite el patrón impuesto por el sistema en todo lo demás: “los que saben” son unos cuantos, los que tienen la posibilidad de beneficiarse del bien social que es la ciencia, son menos aún. La ignorancia cubre como un velo espeso a las mayorías a quienes les ha sido escamoteado el derecho a desarrollarse intelectualmente. El abismo es, generación tras generación, cada vez más profundo y no se vislumbra una solución pues, para empezar, ni siquiera existe conciencia del problema.

Los cambios políticos globales del último tercio del siglo XX tuvieron, sobre todo en los países del Tercer Mundo, contrapartes domésticas igualmente dramáticas. La formación universitaria, sobre todo la relacionada con las ciencias y las humanidades, perdió su valor. Hoy, muchos de quienes podrían ser profesores e investigadores deben, por menester, emplearse en trabajos ajenos a los de su orientación profesional y, cada vez más, los aparatos estatales prefieren importar conocimiento desde los grandes centros de producción científica y tecnológica del mundo a impulsar un desarrollo propio.

Esas aberraciones han provocado una disminución de la creatividad global en la sociedad y, notoriamente, de la libertad individual. Por una parte, los medios de comunicación masiva se arrojan el papel de educadores ante el abandono deliberado de las tareas educativas por parte de los estados del capitalismo, maduro o dependiente, y saturan el éter de entretenimiento banal y de violencia: los horrores de la guerra forman ya parte de la distracción de las familias en sus horas de descanso: impudicamente, los noticiarios de la televisión y la radio los difunden y hace mucho tiempo que la gente empezó a creer que ése —el de las Torres Gemelas hechas polvo en Nueva York, el del ejército israelí asesinando niños y mujeres palestinos, el del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas doblegándose una y otra vez ante la locura belicista del gobierno estadounidense— es el estado normal

de las cosas y que no pueden, por lo tanto, ser de otra manera.

VI. ¿DESALIENTO O ESPERANZA?

La desesperanza conduce a la búsqueda de soluciones personales inmediatas y por ello las mayorías se vuelcan hacia el misticismo y se refugian en la religión; reaparece el pensamiento mágico: la influencia de adivinos, predicadores y chamanes es cada vez mayor; ante la total indiferencia de las autoridades educativas y sanitarias, tienen acceso sin restricciones a los medios de comunicación y —dado el deterioro del sistema público de salud y lo inaccesible que es la atención médica privada para el pueblo— la gente les confía su salud física y emocional a todo tipo de charlatanes; asimismo, cree a pies juntillas sus pronósticos y orienta su vida según sus recomendaciones. Como una reacción ante los males que los aquejan —muchos de los cuales, en la imaginación popular, son fruto de la razón y la ciencia— los seres humanos de principios del tercer milenio, han vuelto a la superchería como solución última y confiable.

Y sin embargo, nunca en la Historia hubo mayores posibilidades de acceder a la información y de educarse —usando los medios que la tecnología de las comunicaciones pone al alcance— que en nuestros días. Uno de los frentes de conflicto más agudo es el del control de esos medios: por un lado, se han convertido en las nuevas ruedas del comercio y la actividad financiera sobre las cuales el capitalismo medra e impone sus leyes; por otro, con ánimo académico o sin él, cualquier persona puede sumergirse en la internet —si bien el que no todos tengan acceso es, hoy en día, un elemento más de las desigualdades que son raíz y fruto del capitalismo— y tener contacto con el conocimiento científico y el saber humanista de nuestros días: ahí se tiene acceso a bancos inmensos de datos y es posible ponerse al día en los avances de investigación de cualquier tema, confrontar tesis o ensayos, defender y difundir movimientos u opiniones sociales contrahegemónicos, etcétera.

El control de la información y del conocimiento es un instrumento de dominación pero también puede ser un elemento liberador si se actúa con ingenio y creatividad. En nuestros días, el cambio en todos los órdenes de la vida es más rápido que nunca: la sociedad capitalista tiene una altísima tasa de obsolescencia de la producción —piénsese, por ejemplo, en la vida útil de un programa para computadora— y la cantidad de información disponible crece exponencialmente día a día, mientras los nodos en la red electrónica mundial se multiplican con velocidad similar. Estos son indicios de inestabilidad estructural y sugieren un estado de crisis. Los nuestros son tiempos que ofrecen una coyuntura extraordinaria para cambiar. Ante la embestida por el control de la conciencia de la gente, se abre la posibilidad de aprovechar el cambio rápido e impulsar una suerte de revolución permanente. Esto requiere una estrategia adecuada para contrarrestar

la obsolescencia y saber estar al día a pesar de la rapidez con la que el conocimiento “de punta” se va sustituyendo: de otro modo, el sistema dominante siempre tendrá la posibilidad de imponer la enajenación sobre la capacidad creadora.

A mediados de la década de los setenta del siglo pasado, el embriólogo británico Conrad Hal Waddington —uno de los científicos y filósofos de la ciencia más destacados de la época— sostenía que la tasa de obsolescencia era tan alta, que bastaba con que transcurrieran “unos cuantos años para que una parte considerable (superior al 60 % en algunos campos) de la reserva de conocimientos de la mayoría de la gente perdiera su vigencia” proponía las siguientes medidas educativas para atender el problema:

... Presumiblemente, la solución consiste en enseñar (a) principios generales que se hagan obsoletos sólo muy lentamente; (b) métodos de investigación que permitan encontrar rápida y correctamente, información factual actualizada para poner carne sobre aquellos huesos [los de los principios generales...] cuando sea necesario a fin de aplicar (c) métodos de clasificación de la información que establezca una jerarquización en categorías de manera que los asuntos importantes para un contexto particular, puedan destacarse rápidamente y (d) el inculcar el deseo de continuar autoeducándose luego de que el periodo de educación formal haya terminado... (Waddington, 1977:36-37).

Poner en práctica una educación basada en estos principios, apoyados en las facilidades de acceso y procesamiento de la información de nuestros días, puede ser fundamental si queremos convertirnos en agentes de transformación del mundo; conscientes de nuestro papel como científicos o humanistas, capaces de defender, ejerciéndola, nuestra capacidad creadora.

VII. LAS CULPAS

Empero, es preciso volver al conflicto entre ciencias y humanidades descrito arriba; en particular, importa delimitar la crítica neurótica de la ciencia de los cuestionamientos válidos. Conviene hacerlo porque aquella crítica es la base de la tendencia retrógrada que alimenta la vuelta a las supersticiones y el pensamiento mágico (ubicado aquí bajo el nombre genérico de corriente *New Age*), preludio de la nueva Edad Media anticipada hace más de una década por Umberto Eco. Mayor importancia tiene el deslinde si se toma en cuenta el hecho de que muchos intelectuales progresistas, humanistas destacados y científicos comprometidos con la gente, se han dejado llevar por el espejismo de algunas corrientes, cercanas al postmodernismo y el relativismo cultural, de moda en las metrópolis y cuyas posiciones se inspiran en lo *New Age* o, en el mejor de los casos, lo rondan de muy cerca. El

racionalismo y la ciencia están hoyen el banquillo de los acusados. Un poeta, notable por su actuación política, expresa su punto de vista de la siguiente manera

La caída del comunismo se puede interpretar como una señal de que el pensamiento moderno —basado en la premisa de que el mundo es discernible objetivamente y que el conocimiento así adquirido es susceptible de generalización— ha caído en una crisis final (Václav Havel. “El fin de la era moderna”. *New York Times*, 1ero de marzo de 1992).

En este enunciado se resume con claridad meridiana la confusión inmensa sobre la cual se basa la acusación: Havel es incapaz de distinguir el campo semántico de sus animadversiones políticas del correspondiente a una teoría del conocimiento. Identificar el comunismo con la burocracia soviética es un grosero disparate difundido hasta el cansancio por los medios de comunicación masiva: que Havel lo repita es propio de su talante ideológico; pero es peor el intento de justificar así la tesis de que el mundo no es discernible objetivamente, a partir de una premisa falsa y sin relación con lo que se quiere inferir de ella.

Desde luego que el Universo se puede discernir objetivamente y el conocimiento adquirido en ese empeño intelectual es susceptible de generalización. No otra cosa se ha hecho en la ciencia durante los cuatrocientos años de su existencia; negarlo es una muestra o de máxima ignorancia o de pésima intención. Nos preguntamos si Havel y quienes comparten su opinión podrían sostener lo que dicen cuando viajan en avión, cuando usan un dispositivo láser o cuando vacunan a sus hijos. El que este tipo de afirmaciones pueda tener foro es también responsabilidad del sistema que hizo de los científicos una clase sacerdotal. Pero la ciencia es un bien social —cada descubrimiento ha sido financiado indirectamente por el trabajo de la gente común, mal que le pese al poder financiero— y debe estar al alcance de todos. Cada esfuerzo por explicar lo que es la ciencia, su historia, métodos y problemas es benéfico para la sociedad, cada denuncia acerca de los peligros de la pseudociencia, un servicio a la civilización. Una sociedad de gente informada y crítica es una sociedad más libre y justa. La ignorancia, como en la larga noche medieval, sólo favorece a la dominación.

Pero sería una necedad cerrar los ojos ante críticas legítimas. No obstante, es fácil darse cuenta de que éstas se refieren a la responsabilidad social de los científicos o a la orientación incorrecta o perniciosa de su trabajo y no a la ciencia misma. Un ejemplo de la mayor importancia se da en relación con la tecnología guerrera.

Un recorrido por los numerosos conflictos bélicos del siglo XX es suficiente para convencernos de que entre los científicos, específicamente entre los que voluntariamente se han asociado a la industria militar, abundan criminales de guerra que están al mismo nivel que los condenados en Nüremberg; criminales que han puesto a disposición

de los mandos militares y políticos, instrumentos de devastación y muerte como el gas mostaza, el napalm, la bomba de hidrógeno, los misiles teledirigidos o las armas bacteriológicas, aparentemente, sin remordimientos ni crisis de conciencia.

No es difícil percatarse de que las tendencias hegemónicas empujan en un sentido opuesto al de la solución del conflicto entre científicos y humanistas y que la magnitud del problema demanda una acción concertada entre ambos como parte activa de la conciencia de lasociedad y de sus propios gremios. Se trata entonces de presentar un frente común y atreverse a tender puentes entre las culturas de ambos tipos y, conjuntamente, participar en la sociedad civil para contribuir a que el hombre y la mujer común puedan vivir una vida en la que sean dueños de su propio destino.

VIII. COMPLEJIDAD Y CAMBIO POSIBLE

Como científicos, queremos referirnos a las posibilidades que hoy se han abierto para empezar a tender esos puentes desde nuestra ribera. Sin duda, las oportunidades de hacerlo están directamente relacionadas con los cambios en la ciencia durante los últimos cuarenta años. Boaventura de Sousa Santos les atribuye el producir la sensación de que lo hecho desde el XVIII hasta mediados del siglo XX es “historia antigua” (de Sousa, 1992: 9) y de volver a poner en jaque —luego de las crisis producidas por la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad— nuestra “confianza epistemológica” (de Sousa, 1992: 11):

Estamos abrumados por un sentimiento de pérdida irremediable, más extraña aún por nuestra incertidumbre respecto a qué es exactamente lo que perdemos. A veces, hasta es posible preguntarnos si este sentido de pérdida no será sólo un temor que oscurece los más recientes avances de nuestra vida individual y colectiva y, de nuevo, siempre hay confusión respecto a qué exactamente se había ganado.

La desazón descrita por el sociólogo lusitano es legítima: la confianza en nuestras posibilidades de conocer el mundo estaba asentada en el dominio avasallador de la ciencia mecanicista que, como todo imperialismo, ocultaba sus defectos para dar la impresión de fortaleza. Sin embargo —una vez más, desde dentro de la propia ciencia y bajo el amparo de la razón— quienes crecieron como científicos en el estudio de los sistemas complejos reconocieron la incapacidad del reduccionismo mecanicista para comprender lo complejo.

Ya, en 1972, Phillip W. Anderson (Premio Nobel de física en 1977) escribía:

La falacia principal en este tipo de pensamiento es que la hipótesis reduccionista no implica, en forma alguna, una [hipótesis]

‘construccionista’: la habilidad de reducir todo a leyes fundamentales simples no implica la habilidad de empezar desde esas leyes y reconstruir el universo. De hecho, entre más nos dicen los físicos de partículas respecto a la naturaleza de las leyes fundamentales, menos importancia parecen tener con respecto a los problemas reales del resto de la ciencia y mucha menos con respecto a los de la sociedad (Anderson, 1972: 393).

En efecto, la visión mecanicista del mundo, consustancial al reduccionismo, es demasiado miope para comprender el comportamiento complejo de la materia: la emergencia de patrones geométricos, la aparición repentina de formas de funcionamiento coherente, el desarrollo y la evolución de esas formas, la autoorganización, etcétera. Estudiar esta realidad desde la perspectiva reduccionista es un despropósito y empeñarse en defender su validez, como ya lo hemos dicho, una necesidad.

Pero fue el desarrollo de la matemática aplicada el que provocaría un vuelco en la década de los setentas del siglo pasado; en cascada, sus consecuencias han ido configurando una nueva forma concebir la relación entre realidad, física y matemática: al explorar el camino inverso al reduccionismo, se descubrió que aún sistemas dinámicos extremadamente sencillos pueden dar lugar a comportamientos complicados y explicar, con base en esto y en términos de principios primordiales simples, la aparición espontánea de características colectivas que no se hallan en los agentes individuales que actúan en los sistemas cuando éstos se consideran por separado.

El estudio de los sistemas dinámicos no lineales ha dado lugar a conceptos y herramientas nuevos y a una terminología relacionada con sus propiedades. En particular, hoy se sabe que un sistema cuya evolución temporal está determinada por una dependencia funcional relativamente simple, puede presentar transiciones entre distintos estados y fluctuaciones en todas las escalas, y no obstante su impredecibilidad intrínseca, es posible hallar regularidades en el comportamiento del sistema que lo distinguen, sin duda alguna, del azar. Los sistemas complejos no se definen —una definición es una trampa a la riqueza conceptual y fenomenológica de éstos— es mejor caracterizarlos por sus propiedades y, entre éstas, las más relevantes son la autoorganización en zona crítica, la frustración y las propiedades emergentes.

Desde hace décadas, los físicos aprendieron a reconocer que en los sistemas abiertos, en aquéllos que intercambian materia, energía o información con su entorno, ocurre el fenómeno de autoorganización entendido como la capacidad de tales sistemas de dar lugar a estructuras y patrones de manera espontánea, en ausencia de control externo. Hay muchos ejemplos de autoorganización en lo cotidiano, quizá uno de los mejores es el de la formación de las nubes. Una mente candorosa se podría preguntar por qué el vapor de agua en la atmósfera no tiende, por difusión, a una distribución homegénea y uniforme. No lo hace porque la máquina solar crea gradientes de tem-

peratura y éstos, a su vez, provocan la ruptura del estado homogéneo (*ruptura de simetría*) y la organización del vapor de agua en las estructuras coherentes y discernibles que llamamos nubes. También hay ejemplos muy claros de autoorganización en sistemas sociales: los ciclos de actividad periódica en los hormigueros y termiteros suceden sin control o dirección centralizada; simplemente son el resultado de una acción colectiva inconcebible en un individuo (Miramontes y DeSouza, 1996). Los patrones espaciales que surgen de la autoorganización de los sistemas se llaman emergentes y no surgen como el resultado de algún programa o voluntad exógena.

La expresión *zona crítica* tiene un significado muy preciso en la termodinámica (Jensen, 1998) donde se usa asociada a los fenómenos de transición de fase o bifurcaciones. Cuando un sistema se encuentra en la zona crítica ocurren fenómenos extraordinarios: se dan estructuras espaciales y fluctuaciones temporales perfectamente discernibles y de todos los tamaños pero cuya distribución de magnitudes sigue leyes muy precisas, las llamadas leyes de potencias que, por plantearlo coloquialmente, nos dicen que los eventos pequeños ocurren con frecuencia, los medianos con regular abundancia y los enormes con rareza. Tal y como ocurre con los terremotos y con la distribución de la riqueza en el mundo de hoy. En la zona crítica, una pequeña perturbación sobre el sistema puede llegar a influir el comportamiento de todos sus componentes (se dice entonces que existen ahí correlaciones de largo alcance). En pocas palabras, son sistemas cuyo grado de integración es tan elevado, que lo que acontece en una parte del sistema no le es ajeno al resto (como en un organismo). En los sistemas físicos, para llegar a la zona crítica, es necesario controlar un parámetro. Por ejemplo, la temperatura si se habla del diagrama de fases de algún compuesto. La autoorganización en zona crítica es llegar a la zona crítica sin necesidad de afinar parámetros; es decir, sin controles exógenos. Este concepto es de importancia capital para intentar comprender los procesos que implican la acción colectiva de sistemas con un gran número de componentes o actores. La noción de autoorganización en zona crítica fue propuesta por Bak, Wiesenfeldt y Yeng en 1987 (Bak, Wiesenfeldt y Yeng, 1987) y es quizá, un concepto que, como las revoluciones copernicana y relativista, cambie profundamente nuestra manera de interpretar el mundo.

Por otra parte, en 1975, Toulouse (Toulouse, 1975) propuso el término *frustración*. Su nombre no puede ser más elocuente: se dice que un sistema se encuentra frustrado si los agentes o partes que lo componen no pueden satisfacer simultáneamente todas las restricciones de la totalidad (para una definición precisa, ver D.L. Stein, 1980). Un ejemplo ayuda más que una serie de ecuaciones: en un sistema social, un cuerpo de leyes no puede satisfacer a todos los integrantes de la sociedad; lo que beneficia al banquero perjudica al ahorrador, lo que ayuda a una clase golpea a otra. Es imposible la satisfacción simultánea y total. La sociedad utópica tendría que encarar este hecho de manera de hacer rotativa la frustración entre todos los

elementos sociales. la sociedad real resuelve el problema cargando de frustración siempre a los pobres, a la smujeres, a los indios o a minorías raciales o religiosas.

No hemos usado tecnicismos, nos interesa destacar la esencia de los conceptos y no su formalismo. Pero es necesario mencionar que el estudio de los sistemas complejos es una disciplina netamente matemática en la cual, como en la ciencia en general, es válido el uso de metáforas y analogías mientras se tenga conciencia de que todo se encuentra perfectamente sustentado.

Las consecuencias epistemológicas de los sistemas complejos son dramáticas y alcanzan las más diversas esferas del pensamiento. Existen sistemas cuyos agentes pueden ser de naturaleza muy diversa y, sin embargo, evolucionar de manera semejante. Dicho de otro modo: existen sistemas cuya base material microscópica es disímil (átomos, moléculas, amibas, insectos, neuronas, computadoras, etcétera) que, sin embargo, tienen manifestaciones macroscópicas semejantes (estructuras geométricas, redes, asociaciones, comportamientos colectivos, etcétera).

Esto permite definir clases de equivalencia dinámica mediante la identificación de todos los sistemas que tienen el mismo comportamiento macroscópico aunque su naturaleza microscópica sea distinta. De esta manera, la dimensión de las posibles manifestaciones de la naturaleza es relativamente pequeña porque, con base en leyes simples, es posible explicar multitud de comportamientos complejos.

El proceso de abstracción que permite identificar semejanzas entre muchas y muy variables cosas es uno de los principios organizadores sobre los cuales se construye el conocimiento; está en la base de las distintas representaciones del mundo que los seres humanos han construido y nos ha permitido superar el pasmo ante la diversidad. Hasta muy recientemente, los intentos por aplicar este enfoque en las ciencias de la vida y el estudio de los procesos sociales habían fracasado o, calzados a fuerza, produjeron no sólo reservas sino animadversión de parte de los estudiosos de esos campos. El desarrollo de la teoría de sistemas dinámicos (cuyos cimientos fueron tendidos por Henri Poincaré a finales del siglo XIX) y el descubrimiento de grandes categorías de dinámicas universales, permite proponer una nueva concepción del mundo en la cual es posible descubrir, explicar y comprender el comportamiento de sistemas de muy diversa índole con las mismas herramientas matemáticas y el mismo aparato conceptual:

... puede ser una herramienta importante para comprender los fenómenos de evolución y revolución social, así como el papel activo y consciente del hombre como promotor de esos cambios; en ese sentido, los fenómenos de transición que se esbozan tanto a nivel físico como en el análisis de la evolución de la estructura de la ciencia, podrían estar presentes en todos los niveles [...] Creemos que vale la pena añadir que el entendimiento de las

leyes de evolución de la materia, a diversos niveles de los fenómenos de transición y amplificación de fluctuaciones, nos puede ayudar a comprender la dinámica de los cambios sociales revolucionarios hacia una sociedad más justa, así como el papel del hombre como motor de estos cambios (Cocho, 1975).

Como se ve, hace casi treinta años, se descubrió que el camino inverso al reduccionismo —la teoría de sistemas complejos— nos permite extender con una economía de medios semejante a la de la física tradicional, nuestra comprensión del mundo en muchas direcciones y abona la idea de que, por muy diversa que pueda ser la realidad, el conocimiento es uno solo y las distintas divisiones de la ciencia, imposturas.

En particular, la teoría de sistemas complejos contribuye a superar la antigua disputa entre lo que C. P. Snow llamó “las dos culturas” para referirse a la oposición entre ciencias y humanidades acentuada luego de las atroces aplicaciones de la física a la tecnología de guerra a mediados del siglo XX a las que nos hemos referido.

Por ahora, el pensamiento dominante entre quienes hacen la ciencia sigue siendo mayoritariamente reduccionista. Sin embargo, en las últimas tres décadas, se ha confirmado que con las herramientas de los sistemas dinámicos no lineales es posible abordar y explicar aquellos problemas de formación de patrones en sistemas complejos descritos arriba para los cuales la física tradicional es totalmente insuficiente. En lo social, ya hemos visto cómo los cambios de nuestros días ocurren con una rapidez inimaginable hace cincuenta años. Esto, por sí mismo, no configura una situación revolucionaria pero sí da oportunidades de que se generen crisis de distintos tamaños en las cuales una acción relativamente pequeña, ejecutada en el momento adecuado, puede provocar cambios importantes. Este es el tipo de situaciones en las cuales, dice el refrán chino, “una chispa puede incendiar toda la pradera”.

Desde el aparato de dominación, es claro que la contraparte hará esfuerzos por impedir aquellas acciones que, montadas en la cresta de las fluctuaciones, puedan dar lugar a un cambio en las cualidades del sistema. Todo es conflicto, como lo estableció Heráclito hace veinticinco siglos y es merced a la lucha que todo se resuelve: en zona crítica, la sociedad civil puede romper las barreras que el sistema le impone; en tal situación, los seres humanos se vuelven agentes de su propia historia, dueños de su destino y pueden dejar de ser juguetes más o menos inconscientes de los grupos de poder y las fuerzas del mercado. Temporalmente, al menos, pueden conducir la revolución permanente.

IX. CONCLUSIÓN

En el preámbulo a la última sección de su libro, de Sousa ha escrito que

Bajo las condiciones sociales y teóricas recién mencionadas, la crisis del paradigma de la ciencia moderna no es un triste lodazal de escepticismo o irracionalismo. Más bien, nos vemos ante el retrato de una familia intelectual grande e inestable pero también creativa y fascinante: en el momento de decirle adiós a puntos de referencia, ancestrales e íntimos, tanto teóricos como epistemológicos... un adiós en busca de una vida mejor en [algún lugar de] los alrededores, donde el optimismo está mejor fundamentado y la racionalidad es más plural y en donde, al fin, el conocimiento será nuevamente una aventura encantada.

De Sousa tiene razón cuando percibe a la familia grande de los científicos en los umbrales de un cambio de vecindario para reencontrarse con la aventura encantada del conocimiento. Al menos parcialmente, el encanto radica en que, desde nuestra ribera —como lo muestran los ejemplos que hemos presentado y muchos otros que pueden hallarse en las abundantes referencias que existen hoy sobre sistemas complejos— hemos empezado a romper las dicotomías entre naturaleza y sociedad y entre el todo y las partes; tenemos buenas razones para pensar que el método de la ciencia podrá también contribuir a romper las otras dicotomías que de Sousa señala en su propuesta imaginativa y aglutinadora del paradigma “del conocimiento para una vida digna”.

Estamos seguros de que el racionalismo sigue siendo el fermento subversivo que fue durante la Ilustración, mal que les pese a quienes se adueñaron de su discurso para someter a los demás. Si nos empeñamos en construir un futuro digno, mal haríamos en renunciar a uno de nuestros mejores instrumentos para hacerlo. Lo que hace falta es fortalecer la componente humanista del quehacer científico; hacer una ciencia rigurosa pero emocionalmente comprometida con la gente, capaz de dejar de ser patrimonio y sirviendo de unos cuantos para convertirse en catalizador de esa vida digna que propone de Sousa y, así, contribuir a la felicidad de los seres humanos.

En las formaciones sociales dominantes de nuestros días, la capacidad creadora y el potencial liberador de la ciencia no alcanza ya a la mayoría de la población porque las clases dominantes la han enajenado para sí y la han depositado en un reducido grupo de iniciados. En cambio, el sistema promueve la difusión en los medios de programas insustanciales de “contenido científico” para el público en general; con ello apuntala al discurso científico como parte de su soporte ideológico pero la superficialidad de la información produce en la gente o una aceptación acrítica de las bondades de ese discurso o un rechazo suspicaz y muchas veces bien fundamentado.

Frente a esto, la reacción de más de un grupo progresista ha sido, paradójicamente, reaccionaria: la satanización de la ciencia y una “vuelta al pasado” en la que se confunden tendencias críticas válidas y propuestas retrógradas que, a despecho de las intenciones de quienes las sostie-

nen, se convierten en las mejores colaboradoras del aparato dominante. La atmósfera intelectual de nuestro tiempo se ha dejado arrastrar por la marea de la nueva derecha que proliferó después de la caída de la Unión Soviética. El desánimo se ha materializado con la aceptación de dicotomías que imponen los que dominan el mundo (“...están conmigo o en mi contra”). Estamos obligados a rechazar la elección entre la ciencia cómplice del poder y el humanismo confundido con lo *New Age*.

La labor de la gente progresista honesta no es únicamente tratar de satisfacer las necesidades básicas de los seres humanos para evitar que la búsqueda imperiosa por sobrevivir nos esclavice y nos ponga al servicio del sistema o de tratar de resolver las necesidades biológicas como el alimento, el techo, la salud y la seguridad. También, se trata de ejercer el derecho de todos y de todas a la creatividad como suprema manifestación del espíritu humano.

En ese sentido, es preciso aprovechar la dinámica compleja del cambio social en nuestro tiempo y tender los puentes necesarios entre la ciencia y el humanismo porque, como hemos tratado de establecer en este ensayo, la separación de ambos campos no sólo es artificial sino esencialmente errónea y engañosa. Construyamos los puentes para educarnos en una nueva cultura: aprendamos a ser científicos conscientes de nuestra responsabilidad social y hagamos de la práctica de la ciencia una forma de ser humanistas. En sentido opuesto, transformémosse el desencanto de los humanistas en combate a la crítica neurótica de la ciencia y recupérese la confianza en la capacidad racional de la Humanidad para transformar su historia. Desde ambas riberas, es preciso recuperar la esperanza: otra vez, como en el Renacimiento y en la Ilustración, postulemos al ser humano como la medida de todas las cosas.

-
- [1] Anderson, Phillip W. (1972): “More is different” *Science* 177 (4047) : 393–396.
 - [2] Cocho Gil, Germinal (1975): “Algunos aspectos de la termodinámica de la vida”, en *El origen de la vida*. Simposio conmemorativo en homenaje a Alexander I. Oparin. México, UNAM.
 - [3] De Sousa Santos, Boaventura (1992): “A Discourse on the Sciences”, en *Review*, Vol. XV-1: 9-47.
 - [4] Goldenfeld N. y L. Kadanoff (1999): “Simple Lessons from Complexity”, *Science* 284:87-89.
 - [5] Gutiérrez Sánchez, José Luis (1999): “Teorías, sistemas y comprensión del mundo” en *Perspectivas en las teorías de los sistemas*, México, CEIICH–Siglo XXI (pp. 93–100).
 - [6] Jensen, Henrik Jeldtoft (1998): *Self-Organized Criticality*. Cambridge. Cambridge University Press.

- [7] Miramontes, Octavio & Og DeSouza (1996): “The Nonlinear Dynamics of Survival and Social Facilitation in Termites”. *Journal of Theoretical Biology* 181, (4): 373-380.
- [8] Stein, Daniel L. (1980): “Disordered systems” en *Lectures in the Sciences of Complexity*. Daniel L. Stein, (Ed.). New York. Addison-Wesley.
- [9] Toulouse, G. (1977): “Theory of the frustration effect in spin glasses: I”, *Commun. Phys.* 2: 115
- [10] Waddington, Conrad Hal (1977): *Tools for Thought. How to Understand and Apply the Latest Scientific Techniques of Problem Solving*. New York. Basic Books, Inc. Publishers.