

¿ORDEN O CAOS?*

Marcela Zerpa**

Resumen

Desde hace tres décadas los científicos comenzaron a transitar por un nuevo sendero: el de la no linealidad. El mundo no funciona como un reloj. El desorden, la turbulencia, la irregularidad de la naturaleza cuestionan el modelo determinista y reorientan la actividad científica. La preocupación está centrada en la relación entre el *orden* y el *desorden*. Sin embargo no son pocos los interrogantes que surgen alrededor de este cambio de perspectiva: ¿asistimos al fin de las teorías totalizadoras? ¿ha surgido un nuevo paradigma en la ciencia? ¿podemos proclamar el fin de las certidumbres?. Un nuevo capítulo se abrió en la ciencia, pero aun no podemos encontrar respuestas definitivas a nuestros interrogantes.

Abstract

It is three decades since scientists have started exploring a new path: that of the non-linearity. The world does not work like a clock. Disorder, turbulence and irregularity in nature question the determinist model and redirect scientific activity. The concern is about the relationships between order and disorder. There are many questions arising from this change of perspective: Are we witnessing the end of totalizing theories? Has a new paradigm arisen in science? Can we proclaim the end of certainties? A new chapter has opened in science, and we still cannot find definitive answers to our questions.

“Primero fue el Caos...”

Los antiguos creían que había una lucha eterna entre el Caos y el Orden. Consideraban al caos como lo informe, lo vacío, lo desordenado a partir de lo cual paradójicamente surgía el cosmos. Esta idea fue expresada en los mitos acerca del origen del universo elaborados por las civilizaciones antiguas.

Las cosmogonías orientales hacen derivar el cosmos de un caos acuoso originario, encarnado en los dioses primitivos. Un antiguo poema babilonio cuenta que

cuando todavía por encima no estaba nombrado el cielo, por debajo la tierra firme no tenía todavía un nombre, el Apsu primero, su generador Mummu y Tiamát, la generadora de todas las cosas, se mezclaban sus aguas entre sí. Todavía no se habían construido mansiones para los dioses, y la estepa no era visible aún, cuando todavía no había sido creado ninguno de los dioses y ellos no tenían aún un nombre y los destinos no habían sido asignados a ninguno de ellos, fueron procreados los dioses en medio de ellos... (Mondolfo, 1983: 13).

*Pertenece al Proyecto N° 453 del CIUNSA: "De las filosofías del orden al pensamiento del caos".

**UNSA - CIUNSA.

Apsu, Mummu y Tiamát, las fuerzas del caos, entablan una lucha con Marduk, representante del orden.

La cosmogonía egipcia cuenta que “al principio era Nun, masa líquida primordial, en cuyas infinitas profundidades flotaban confusos los gérmenes de todas las cosas” (Ibid.: 14).

Nun, el abismo sin forma, engendra a Ra, el sol, quien sube sobre las aguas y las separa, engendrando de ellas los ríos, los océanos y los cielos, donde navegan los astros y los dioses.

El caos aparece así como creador de formas; entre orden y caos hay una armonía precaria, una tensión inestable. También Hesíodo en su *Teogonía* relata el origen de los dioses y del universo. Su relato mítico reconoce al caos como el ser primordial, fuente y origen de todo lo existente. El caos no desaparece con la formación del universo sino que permanece en los confines como continente del cosmos, representando una amenaza constante de disolución del universo.

Decidme, oh Musa de las moradas olímpicas, cuál de los dioses fue el primero. Antes que todas las cosas, fue el Caos, y después la Tierra de amplio seno, asiento siempre sólido de todos los Inmortales que habitan las cumbres del nevado Olimpo (...) Y allí, más allá de todas las cosas, se hallan las fuentes y los límites de todas las cosas, se hallan las fuentes y los límites de la Tierra oscura, y del Tártaro nebuloso y del mar infinito y del cielo estrellado; fuentes y límites terribles, tenebrosos, que los dioses odian: es el gran Abismo (Ibid.: 18).

En *La República* Platón rechaza a los poetas trágicos por difundir historias indignas sobre los dioses, quienes luchan entre sí en los orígenes del universo, y cuyos comportamientos se asemejan al de los humanos. En *El Timeo* Platón relata un mito acerca de la formación del mundo; allí habla de un Demiurgo, creador del alma y del cuerpo del universo visible. Este artesano divino contempla las Formas, que contienen los prototipos del universo, y trabaja sobre la materia preexistente; esta última es el elemento irracional del cosmos, es una confusión de movimientos desordenados, un juego infinito de cualidades indefinidas y cambiantes que se mueven en línea recta, pues el movimiento rectilíneo es, a diferencia del circular, irracional e imperfecto. El universo contiene así un elemento de irracionalidad y desorden, lo que explica su imperfección. Entre las Ideas, perfectas, inmutables, y el caos primitivo se encuentra nuestro mundo, desordenado, cambiante, pálido reflejo del orden de las Ideas.

Aristóteles se aleja de esta posición y nos habla de un universo impregnado por el orden. Este filósofo concibe al universo como una organización jerárquica de seres sujetos a cambios, a generaciones y corrupciones; los cambios y los movimientos tienen una causa y una finalidad. Las causas se subordinan unas a otras. Hay un orden jerárquico de las causas del cual el eterno movimiento del sol es el punto culminante; esto permite enlazar el mundo sublunar con el de las esferas celestes, indestructible y en perpetuo movimiento. El universo aristotélico es así uno, eterno y ordenado. La tradición cristiana por su parte reconoce la existencia de un Dios creador y ordenador del universo. Dice el Génesis: “Al principio Dios creó los cielos y la tierra. La tierra estaba desierta y vacía. Había niebla sobre la faz del abismo” (Génesis, cap. 1-vers. 1).

De lo informe y vacío Dios hace surgir las formas.

La Edad Media está impregnada por la visión cristiana y por la filosofía aristotélica. Sin embargo, ellas debieron convivir con otras creencias, por ejemplo la que sustentaban los alquimistas. Para los alquimistas el mundo era una vasta red de semejanzas y diferencias. Todas las cosas en el universo estaban relacionadas entre sí; estas relaciones eran de “simpatía” o “antipatía”. El hombre debía descifrar en los signos de la Naturaleza esas

relaciones. Dios estaba presente en todas las cosas, ellas llevaban el sello del Creador. Conocer era, entonces, “participar” de la divinidad oculta en la naturaleza. En el conocimiento había una identificación, una unión entre aquel que conoce y lo conocido. El alquimista intentaba penetrar la materia, no confrontarla. La práctica de la alquimia era considerada una “actividad sagrada”; la transformación de la materia que realizaba el alquimista era comparada con la actitud de Dios en la creación del universo; de allí la realización de rituales como la meditación y el ayuno antes de cualquier actividad de intervención en la naturaleza. El alquimista ayudaba a la naturaleza a acelerar su tiempo, modificando su ritmo cósmico. La alquimia era una mezcla de cristianismo, ciencias ocultas y animismo. Había una visión holista: el hombre era parte de la naturaleza, el universo era su hogar.

La visión científica moderna

La concepción escolástica del mundo, fundada en la autoridad de la Iglesia y de Aristóteles se revela incapaz para explicar ciertos fenómenos naturales. Comienza una época de búsqueda incesante por encontrar un nuevo criterio de verdad y un método para la ciencia que reemplace al silogismo aristotélico. El problema que la Modernidad hereda es, pues, el de la legitimación o fundamentación del conocimiento.

Así, por un lado, la filosofía cartesiana intentará fundar el saber sobre bases cuya firmeza esté más allá de toda duda. Descartes consagra a la razón como fuente del conocimiento y como criterio seguro de verdad a partir del cual construye su método. Este método sigue el modelo del método matemático, que garantiza certeza y rigor. Intenta diferenciarse así del empirismo de Bacon, que identifica al conocimiento con la experiencia. El método inductivo permite, para Bacon, describir las propiedades de las cosas y la naturaleza de los fenómenos. Es necesario pues “experimentar” con la naturaleza, conocerla será sinónimo de manipularla. Bacon identifica a las ciencias experimentales con la física y a la verdad con la utilidad. Su logro mayor fue el de otorgar un marco general a la experimentación científica. Éstos serán los paradigmas sobre los que se asentará la concepción científica moderna.

El racionalismo y el empirismo, los dos polos opuestos del conocimiento, tan fuertemente representados por Descartes y Bacon respectivamente, pueden considerarse complementarios en lugar de irrevocablemente conflictivos. Descartes, por ejemplo, apenas si se oponía al experimento cuando éste servía para discernir entre hipótesis rivales (...) su enfoque atomístico y su énfasis en la realidad material y su medición, fácilmente se prestaron al tipo de conocimiento y poder económico que Bacon visualizaba para Inglaterra y Europa Occidental. De todas formas, esta síntesis de la razón y del empirismo carecía de una expresión concreta, una demostración clara de cómo podría funcionar en la práctica esta nueva metodología; el trabajo científico de Galileo y Newton suministró precisamente esta demostración (Berman, 1987: 36).

Galileo señala que el libro de la naturaleza está escrito en lenguaje matemático y que es necesario buscar las leyes que rigen los fenómenos naturales. La naturaleza no es algo vivo, orgánico, sino algo inerte, mecánico, pasible de ser conocido por la experimentación y el cálculo matemático. La naturaleza no es teleológica, no hay en ella causas ni fines como había señalado Aristóteles. Ella es descrita ahora en términos de materia y movimiento. Para conocerla será necesario distanciarse de ella, convertirla en *objeto de estudio*. El científico debe perturbar la naturaleza, experimentar con ella.

Para Newton el universo era como un gran reloj que podía armarse y desarmarse, y obedecía a leyes determinadas. El mundo era la obra de un Dios geómetra que había ordenado las partes del sistema. Había, pues, orden y simplicidad detrás del desorden y la complejidad aparentes de los fenómenos. Para Newton la materia estaba compuesta por átomos,

así tanto los objetos más pequeños como los más grandes en el universo respondían a las mismas leyes.

La mecánica newtoniana se asentaba sobre tres leyes simples: la ley de inercia, de fuerza, y de acción y reacción. Estas leyes, expresadas mediante ecuaciones matemáticas, le permitieron formular su ley sobre la gravitación universal y describir con suficiente exactitud el movimiento de los planetas y otros cuerpos celestes. El universo era determinista, podía demostrarse la existencia de una causalidad que regía los fenómenos naturales. En este mundo predecible, comprensible y controlable el desorden y lo impredecible estaban excluidos.

La euforia determinista

Según la mecánica newtoniana para describir el comportamiento de un sistema dinámico, es decir, de un proceso que cambia en el tiempo, como por ejemplo un péndulo en un campo gravitatorio, la trayectoria de un satélite o de un misil, se necesitan conocer, por un lado, las leyes que rigen el sistema y, por otro lado, las condiciones iniciales del mismo. Las condiciones iniciales hacen referencia al estado de un sistema en un momento determinado, así por ejemplo la velocidad y el desplazamiento angular de un péndulo deben estar perfectamente definidos para un tiempo dado. Las leyes, por su parte, tienden a ser simples y son formuladas a través de ecuaciones diferenciales. Las ecuaciones diferenciales son ecuaciones que tienen en cuenta no sólo las variables, sino también las velocidades de cambio de esas variables, llamadas también derivadas.

Los sistemas estudiados por Newton eran sistemas ideales ya que al ser aislados del resto del universo se seleccionaban sólo los componentes más relevantes para su estudio, descartándose aquellos que no eran necesarios. Los sistemas estudiados se convertían entonces en sistemas dinámicos lineales, cuyos modelos matemáticos eran las ecuaciones diferenciales lineales.

Las ecuaciones diferenciales lineales son ecuaciones que admiten el principio de superposición de las soluciones. Por ejemplo, dado un sistema que ante una entrada A responde de manera X, y que ante una entrada B responde con una salida Y, cuando es excitada con una entrada C, igual a la suma de A + B ($C = A + B$), el sistema responderá con una salida Z, que será la suma de las salidas X + Y ($Z = X + Y$).

Las ecuaciones diferenciales lineales, además, no son sensibles a las condiciones iniciales, es decir que pequeñas variaciones en las mismas dan soluciones que difieren muy poco entre sí. La solución o integración de una ecuación diferencial lineal es única: para cada conjunto de datos hay un único resultado; de allí el carácter determinista de estas ecuaciones. Esto significa que fijadas las condiciones iniciales puede predecirse el comportamiento del sistema o determinarse cuál fue su estado en cualquier momento del pasado.

Los fenómenos de la naturaleza están ligados así de tal manera que el estado en que se encuentra el universo en un momento dado sólo es compatible con un estado anterior único y otro posterior también único. Hay relaciones constantes entre los fenómenos expresables en fórmulas matemáticas que permiten explicar dichas relaciones y predecirlas para el futuro. El universo puede ser reducido a un sistema de determinaciones mecánicas; es por ello ordenado y predecible.

El éxito alcanzado por las ciencias de la naturaleza durante el siglo XVIII condujo a la idea de que la solución a los problemas planteados al estudiar los sistemas más complejos dependería de la cantidad y la precisión en la *información*. Se asemejó entonces al conocimiento con la información y a lo azaroso con la ignorancia o la falta de información. La cantidad de azar presente en los sistemas podía *reducirse* a medida que aumentase el conocimiento. El ideal de la ciencia era hacer retroceder el poder del azar mediante el progre-

so del conocimiento. “La euforia del poder de predicción reinaba en el interior de esta fortaleza determinista que parecía haber pulverizado el azar a golpe de ecuación diferencial...” (Wagensberg, 1979:34).

El optimismo determinista alcanzó su punto máximo con el matemático francés Pierre Simón de Laplace quien afirmaba que si existiese una inteligencia capaz de conocer con exactitud las condiciones iniciales de los planetas (posición y velocidad) y aplicase las leyes físicas correspondientes, podría calcular la posición de los planetas en el pasado y en el futuro:

Debemos considerar el estado presente del Universo como el efecto de su estado anterior y como la causa de su estado futuro. Una Inteligencia que, por un instante, conociese todas las fuerzas de las que está animada la naturaleza y la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuese lo bastante profunda para someter a éstos al análisis (matemático), abrazaría en la misma fórmula a los movimientos de los más grandes cuerpos del Universo y del átomo más ligero: nada sería incierto para ella y el devenir, como el pasado, estaría presente ante sus ojos.

El espíritu humano ofrece, en la perfección que ha sabido dar a la astronomía, un pálido ejemplo de esta Inteligencia. Sus descubrimientos en mecánica y en geometría, junto con el de la gravitación universal, lo han puesto en condiciones de abrazar en las mismas expresiones analíticas a los estados pasados y a los futuros sistemas del mundo (Laplace, 1994: 24)¹.

Pero la imperfección en las mediciones y la ignorancia del hombre impiden realizar cálculos y predicciones para todos los fenómenos de la naturaleza; esto ha provocado el surgimiento de la ciencia de la probabilidad. La mecánica estadística incluye el azar al introducir las probabilidades en el mundo de las partículas, conectando este mundo con el de los grandes sistemas, descritos por las leyes de la termodinámica del equilibrio; no se tiene en cuenta ya el movimiento de cada molécula en particular sino que se habla de una velocidad media que depende de las variables macroscópicas (como por ejemplo la presión, el volumen o la temperatura) del sistema en su totalidad.

Este modo de dar cabida al azar dentro del determinismo por la introducción de las probabilidades significaba un enorme sacrificio de la información sobre el comportamiento particular de las moléculas. Esa desinformación era tratada, sin embargo, de manera determinista, con lo cual el azar era encerrado dentro de los límites del determinismo. La ciencia de la probabilidad permitió controlar el azar, domesticarlo. Se confiaba, sin embargo, en la posibilidad de perfeccionar el cálculo matemático y descubrir las leyes físicas que permitieran desterrar al azar.

El determinismo creó la imagen de un mundo ordenado, predecible, regido por leyes inmutables, en el que el hombre, cambiante e impredecible, no tenía lugar. Abrió así un abismo entre el hombre y el mundo.

Hay algo de lo que Newton es responsable (y con él la ciencia moderna en general). Se trata de la división del mundo en dos partes. He dicho que la ciencia moderna había destruido las barreras que separaban los cielos de la Tierra, que ha unido y unificado el universo. Eso es cierto. Pero, también lo he dicho, ésto lo ha conseguido sustituyendo nuestro mundo de calidades y de percepciones sensibles, mundo en el que vivimos, amamos y morimos, por otro mundo: el mundo de la cantidad, de la geometría deificada, un mundo en el que cabe todo excepto el hombre. Y así, el mundo de la ciencia -el mundo real- se aleja definitivamente del mundo de la vida que la ciencia ha sido incapaz de explicar. De hecho, estos dos mundos se unen cada día más por la praxis pero están

¹ Citado en Sametband, 1994: 24.

separados por un abismo en lo que a la teoría se refiere. En esto consiste la tragedia del espíritu moderno que sabe resolver el enigma del universo, pero sólo a costa de reemplazarlo por otro enigma: el enigma de sí mismo².

La crisis del determinismo

El determinismo y su visión mecanicista del universo excluían el desorden y la impredecibilidad. Esta visión fue socavada desde el seno mismo de la ciencia, marcándose así los límites de la mecánica newtoniana. Esta crisis del determinismo fue un factor fundamental para el surgimiento de “la teoría del caos”.

El primer golpe que sufrió el determinismo provino de la *termodinámica*, desde donde se cuestionó el concepto de *tiempo reversible*.

La termodinámica estudia problemas como la teoría de las máquinas térmicas (de vapor, de combustión interna, frigoríficas, etc.), la presión de los gases, las solubilidades y los equilibrios químicos. Debe su nombre a que sus principios fundamentales expresan las relaciones entre el calor y la energía mecánica.

El primer principio de la termodinámica establece que la energía interna de un sistema aislado permanece constante, es decir que no es posible modificar esa energía mediante cualquier proceso que tenga lugar dentro del sistema. El segundo principio impone un límite a la manera en que se cumple el primer principio. Señala que hay una porción de energía que se transforma en calor, ya sea por fricción, rozamiento, etc.; así, la energía útil, es decir, aquella que puede emplearse para producir trabajo, disminuye, llegando a desaparecer cuando el sistema alcanza el estado de equilibrio.

El primer principio no se opone al hecho de que una máquina transforme toda la energía calórica en trabajo, ya que sólo impone que la energía se conserve. Sin embargo el segundo principio prohíbe la existencia de una máquina que absorba calor de una fuente y la transforme completamente en trabajo.

La energía térmica factible de ser convertida en trabajo fue considerada como energía útil u “ordenada”, mientras que la energía perdida o no utilizable fue asimilada al “desorden”. Por eso, cuando los sistemas aislados alcanzan un estado final de equilibrio se dice que se encuentran en un estado de “máximo desorden”, ya que toda la energía útil se ha degradado en energía calórica no utilizable. Hay así un aumento espontáneo del desorden en los sistemas térmicos aislados. Si se considera al universo como un sistema aislado, su evolución hacia un estado de equilibrio final concluirá con la denominada “muerte térmica” del universo.

El físico Rudolf Clausius introdujo en 1865 una función matemática a la que denominó *entropía*, cuya variación es igual al calor absorbido por el sistema, dividido por la temperatura absoluta. La entropía del sistema permanece constante o aumenta, pero nunca disminuye. Por ello se la consideró como una medida del desorden.

La termodinámica afirma que en todo sistema aislado, es decir, que no recibe energía desde el exterior, los procesos son *irreversibles* en el tiempo. Si en un recipiente cerrado aislado, dividido en dos partes por un tabique perfectamente conductor del calor, se coloca agua a 0°C en una mitad y agua a 100 0°C en la otra, se verifica que hay un flujo de calor del agua de mayor temperatura al agua de menor temperatura, llegándose finalmente a un estado de equilibrio en el que la temperatura del agua en ambas mitades será la misma (50 0°C). La probabilidad de que espontáneamente el sistema regrese a su estado inicial, es decir que el agua contenida en una mitad disminuya su temperatura y el agua de la otra mitad aumente

² Koyré, A. citado en Wagensberg, Jorge, 1979: 34.

su temperatura, es prácticamente imposible. En la termodinámica aparece así el concepto de “procesos irreversible en el tiempo”, ya que en los sistemas aislados los procesos termodinámicos se suceden en una sola dirección. Esta asimetría temporal se opone al tiempo reversible de la mecánica newtoniana.

Ya a fines del siglo XIX se sabía también que los sistemas dinámicos complejos presentaban gran dificultad para la predicción de su comportamiento a largo plazo, pues se observaba que en algunos sistemas causas semejantes podían provocar efectos no semejantes. El estudio de estos sistemas tan sensibles a las condiciones iniciales fue llevado a cabo por Henri Poincaré, quien intentó dar una respuesta a una cuestión fundamental para la astronomía de la época: cuán estable es el sistema solar. Si bien no resolvió el problema para el sistema formado por los diez cuerpos celestes, arribó a la conclusión de que no era posible predecir el comportamiento a largo plazo de este sistema determinista, pues se trataba de un sistema dinámico no lineal. Más aún, probó que este “comportamiento caótico” podía presentarse incluso en sistemas dinámicos tan simples como el formado por sólo tres cuerpos, que por ser un sistema dinámico no lineal es sensible a las condiciones iniciales:

Una causa muy pequeña que escapa a nuestra atención determina un efecto considerable que no podemos dejar de observar y entonces decimos que el efecto es debido al azar. Si conociésemos exactamente las leyes de la naturaleza y la situación del universo en el momento inicial, podríamos predecir exactamente la situación de ese mismo universo en un momento posterior. Pero, aún cuando se diese el caso de que las leyes de la naturaleza no tuvieran ningún secreto para nosotros, incluso así sólo podríamos conocer la situación inicial aproximadamente. Si esto nos permitiese predecir la situación siguiente con la misma aproximación, eso es todo lo que necesitamos y diríamos que el fenómeno habríase predicho, que está gobernado por leyes. Pero no siempre es así; puede ocurrir que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales las produzcan grandes en el fenómeno final. Un pequeño error en las primeras producirá un abultado error en las segundas. La predicción se hace imposible y aparece el fenómeno fortuito (Poincaré, 1991:16)³.

Esta crisis del determinismo se evidenció también a nivel de la microfísica. Werner Heisenberg, uno de los creadores de la mecánica cuántica, afirma que es imposible precisar a la vez y con total exactitud la posición y la velocidad de una partícula atómica. Ello debido a que un aumento en la precisión de la determinación de la velocidad, por ejemplo, se obtiene a expensas de una disminución en la precisión de la determinación de la posición, o viceversa. El principio de incertidumbre de Heisenberg muestra así la imposibilidad de predecir, por ejemplo, el momento de desintegración del núcleo de un átomo radioactivo, ya que para ello sería necesario conocer con exactitud la trayectoria del mismo, lo cual es imposible.

En el campo de la matemática los esfuerzos estaban dirigidos a lograr la completa axiomatización de esta ciencia, es decir, hallar un sistema lógico completo y consistente que la contenga y fundamente. Esta tentativa fracasó cuando en 1931 Kurt Gödel formula su teorema de la incompletitud de los sistemas formales. Según éste, dado un sistema formal consistente hay al menos un enunciado que no puede ser probado, es decir, reducido al o deducido del sistema. Por lo tanto, todo sistema formal consistente es incompleto, o bien todo sistema completo es inconsistente.

El desarrollo de las computadoras durante los años sesenta permitió el abordaje de problemas que debido a su complejidad habían sido dejados de lado por los científicos.

³ Citado en Shaw y otros, 1991: 16.

Estos problemas trataban fundamentalmente sobre sistemas dinámicos no lineales o con un gran número de componentes, los cuales, debido a los interminables y tediosos cálculos que se requerían para su solución, eran reemplazados por modelos lineales cuyas soluciones eran factibles de ser alcanzadas con las herramientas matemáticas disponibles.

La capacidad de las computadoras para realizar cálculos a alta velocidad y simular modelos permitió superar las limitaciones que imponía la aproximación por modelos lineales, y abordar el estudio de sistemas no lineales. El estudio de estos “sistemas caóticos” en diversas disciplinas dio lugar al surgimiento de lo que se conoce como *teoría del caos*.

No se puede hablar en sentido riguroso de una “teoría”, ni se lo hace en el ámbito científico, sino simplemente de una *línea de investigación* acerca de sistemas complejos. Existe una disposición favorable a denominar esta línea investigativa como *ciencia de la complejidad*.

Los logros alcanzados sobre todo en los campos de la física y de la matemática fueron aplicados a otras ramas del saber como la biología, la medicina, la economía, la ecología, etc. Así se intentaron explicar no sólo fenómenos como el comportamiento de sistemas físicos dinámicos con gran número de componentes, como la atmósfera o el movimiento turbulento de los fluidos, sino también fenómenos como las arritmias en el funcionamiento del corazón, las fluctuaciones en la bolsa de valores, la propagación y control de epidemias, el estudio de las poblaciones, etc.

El desarrollo de esta disciplina y la posibilidad de abordar el estudio de los sistemas de manera *global* y no fragmentaria creó expectativas de explicar, incluso, los cambios sociales, el origen del universo, la relación entre redes neuronales y comportamiento, y el significado del tiempo, entre otras cosas.

Existen dos enfoques dentro de la teoría del caos. El primero pone énfasis en el *orden existente dentro de los sistemas caóticos*. El segundo, que tiene como principal representante a Ilya Prigogine, considera al *caos como precursor o generador del orden*. De ambos enfoques pueden extraerse consecuencias filosóficas diferentes.

Orden dentro del Caos

Una rama importante entre los teóricos del caos considera que dentro del caos hay un orden oculto que puede descubrirse y aprovecharse para efectuar predicciones sobre el comportamiento de los sistemas. Dentro de este grupo se encuentran científicos como Edward Lorenz, Mitchell Feigenbaum, Robert Shaw y Benoit Mandelbrot entre otros, y en general estudian sistemas dinámicos que evolucionan hacia comportamientos caóticos, pero que bajo esa errática apariencia contienen estructuras ordenadas llamadas “atractores extraños o caóticos”. No se trata, sin embargo, del caos que involucra la total aleatoriedad sino de un caos que, al ocultar cierto orden y no negar la conexión causal entre los fenómenos, se lo ha denominado “caos determinista”.

Se considera que los estudiosos de esta rama, también llamada *rama de los atractores extraños*, transitan *del orden al caos*. El concepto de atractor extraño surge cuando se estudia el comportamiento de los sistemas dinámicos en el llamado “espacio de fases” (o de estados, o de configuraciones). Este espacio es una construcción abstracta, cuyas coordenadas son los componentes del estado o grados de libertad de un sistema dinámico, y varían según el contexto. En un sistema mecánico podrían ser las posiciones y los impulsos (o velocidades), mientras que en un organismo vivo podrían ser la presión sanguínea, la concentración de glucosa en sangre, el ritmo cardíaco, etc.

Un péndulo simple representa un sistema dinámico que puede describirse en un espacio de fases de dos dimensiones, ya que su estado queda determinado por su posición y su velocidad en un momento dado. Su evolución temporal estará expresada matemática-

mente por una ecuación diferencial conforme a las leyes de Newton. Si el péndulo es ideal (no existe rozamiento con el aire) la gráfica de su comportamiento en el espacio de fases será una trayectoria u órbita cerrada, ya que el péndulo simple siempre regresa al punto de partida inicial. En el caso de un péndulo real la fricción con el aire hace que la trayectoria descrita sea una espiral que tiende al punto central u origen del espacio de fases, esto es, desplazamiento igual a cero y velocidad igual a cero. Este punto que parece atraer a las órbitas próximas se denomina “punto atractor”. En términos generales un atractor es la región a la que tiende o hacia la que es atraído el comportamiento de un sistema dinámico. En el caso del péndulo simple real, o de cualquier sistema que tienda al reposo, el atractor es un punto y se denomina “atractor de punto fijo”. Pero en el caso de un péndulo sostenido o entretenido como el de los relojes, donde la energía perdida por rozamiento se repone por una fuente o por un peso, la trayectoria descrita en el espacio de fases es una órbita cerrada y se habla, entonces, de un “atractor de ciclo límite”. Los sistemas que poseen un atractor de ciclo límite se caracterizan por poseer en las fronteras de su atractor una zona denominada “cuenca del atractor”. Cualquier perturbación que lleve al sistema a un punto situado dentro de la cuenca alterará momentáneamente el comportamiento del sistema, pero éste retornará nuevamente a su ciclo límite. Otro ejemplo de sistema con atractor de ciclo límite es el corazón.

En grado de complejidad sigue al atractor de ciclo límite el “atractor toro”, que tiene la forma de una rosquilla. Este atractor corresponde, por ejemplo, al caso de dos péndulos sostenidos acoplados; el comportamiento de este sistema de oscilaciones compuestas, llamado también sistema cuasiperiódico, describe una trayectoria en el espacio de fases que envuelve la superficie de un toro y cuyas trayectorias dependen de la relación entre los periodos de los péndulos. Sistemas con más de dos oscilaciones compuestas serán representados con toros de más dimensiones, que no podemos visualizar por el límite que nos impone nuestro espacio tridimensional.

Éstos eran los atractores conocidos hasta que en la década de los sesenta con el uso de las computadoras se comenzó nuevamente a estudiar los sistemas dinámicos no lineales o complejos, que anteriormente habían sido dejados de lado. Conviene recordar que estos sistemas se caracterizan por implicar frecuentemente una incongruencia entre causa y efecto, debido a la no linealidad y a su gran sensibilidad a las condiciones iniciales, circunstancias que afectan completamente las posibilidades de predicción a largo plazo. En 1963 Edward Lorenz, científico del M.I.T., intentando comprender la impredecibilidad del tiempo meteorológico aplicó a la atmósfera las ecuaciones del movimiento de un fluido, pero simplificadas para tres grados de libertad. El diagrama que obtuvo en el espacio de fases - el primer atractor extraño o caótico- fue un conjunto de líneas que formaban órbitas que se entremezclaban dando al conjunto la apariencia de un par de alas de mariposa. Lorenz observó que pequeñas discrepancias iniciales eran amplificadas y el sistema llegaba así a estados completamente diferentes, por lo que no se podía prever dónde se encontraría el sistema en el futuro. A esta extrema sensibilidad del sistema meteorológico a las condiciones iniciales se la llamó “efecto mariposa”: el aleteo de un mariposa en Hong Kong puede provocar una tormenta en New York. Las órbitas que formaban el atractor caótico no vagaban por cualquier parte del espacio de fases sino que se mantenían dentro de cierto volumen, lo que indicaba que dentro de ese aparente comportamiento caótico había cierto orden. A pesar de ello no había dos órbitas que coincidieran o se cruzaran, lo que implicaba que el sistema nunca repetía el mismo movimiento, haciéndose imposible su predicción. Así como se daba el caso que coordenadas iniciales próximas llevaban a órbitas que divergían muy rápidamente, también sucedía que de coordenadas iniciales muy diferentes se llegaba a órbitas muy próximas. Como dice Katherine Hayles (1993: 192) este atractor extraño “era una rara combinación de simplicidad y complejidad, determinismo e impredecibilidad”.

Esto no sucede en los atractores no caóticos, donde los pequeños errores permanecen acotados, es decir, dos trayectorias próximas siguen siendo próximas a medida que pasa el tiempo, haciendo predecible el comportamiento del sistema.

La impredecibilidad o comportamiento caótico se atribuye a una operación de estiramiento y plegado recurrentes del espacio de fases, tal como ocurre cuando un panadero estira, pliega y mezcla una y otra vez la masa. La operación de estiramiento representa la sensibilidad a las condiciones iniciales, y el plegado la necesidad de permanecer dentro de una zona restringida o volumen finito en el espacio de fases. En este proceso iterativo las órbitas se mezclan una u otra vez creando pliegues dentro de los pliegues, configurando así un atractor extraño que presenta una característica notable como es la de la autosemejanza o autosimilitud a escalas diferentes.

Con este procedimiento se han construido diversos atractores extraños, siendo el de Otto E. Rössler, de la universidad de Tübingen, el más elemental y que fue observado en muchos sistemas, desde flujos de fluidos hasta reacciones químicas.

A la característica de autosemejanza que presentan los atractores caóticos o extraños se agrega que las trayectorias que lo constituyen no forman una superficie ni tampoco ocupan todo el volumen, ya que existen infinitos puntos que las órbitas no atraviesan. Esto significa que no tienen ni dimensión dos, como en el caso de una superficie, ni tampoco dimensión tres, como en el caso de un volumen, sino una dimensión intermedia no entera: los atractores extraños son, así, fractales.

Los fractales son formas geométricas en las que un motivo se repite a sí mismo independientemente de la escala a la que se las observe. Un fractal posee la característica de la autosemejanza y su dimensión es generalmente no entera. Debe su nombre a Benoit Mandelbrot, quien lo derivó del latín *fractus* (quebrado, interrumpido, irregular) y de la palabra *fraccionario*. La estructura fractal aparece con bastante frecuencia en la naturaleza: en un torrente turbulento, en las nubes, en las plantas, árboles, hojas, en el sistema vascular humano, pulmones, en las líneas costeras, ríos, etc. Mandelbrot afirma que la naturaleza no es regular, ya que las nubes no son esferas, ni las montañas conos, así como el rayo no viaja en línea recta.

Como ejemplo de fractales tenemos al conjunto de Cantor o “conjunto del tercio medio” que tiene una dimensión igual a $0,6309\dots$, y es un ejemplo de fractal interrumpido. Otro ejemplo es la “curva de Koch”, propuesta por el matemático sueco Helge von Koch, y que con forma de copo de nieve posee una dimensión fractal igual a $1,26\dots$ La longitud o perímetro de la curva de Koch es infinita, sin embargo encierra una superficie finita. Así, los fractales se caracterizan por su infinita longitud, sus infinitos detalles, su autosimilitud a diferentes escalas, su dimensión no entera en general, y porque se pueden generar por un proceso de iteración. Las estructuras fractales que observamos en la naturaleza no son tan regulares como los fractales producidos por computadoras, pero pueden asemejarse si en el algoritmo que genera estas simetrías se introducen perturbaciones aleatorias usando la teoría de la probabilidad.

La geometría fractal se presenta así como una nueva metodología para la investigación que se inició hace más de tres décadas: la de los sistemas dinámicos no lineales. El estudio de tales sistemas permitió revelar que en la naturaleza la regularidad, el orden y la simplicidad son la excepción y no la regla; que entre el orden (linealidad, reduccionismo, determinismo, predecibilidad absoluta) y el azar completo hay una zona muy amplia: la de una complejidad que involucra al caos determinista con sus sistemas dinámicos no lineales fuertemente sensibles a las condiciones iniciales, y que tras su aparente aleatoriedad, que los hace impredecibles a largo plazo, ocultan un orden que se evidencia por la existencia de los atractores extraños. Los atractores extraños permiten diagnosticar si un sistema que

aparece como caótico posee un *orden oculto*, o si su comportamiento es completamente aleatorio.

La rama de estos teóricos, que *intenta* un tránsito ordenado hacia el caos, es la que tiene mayor aceptación dentro de la comunidad científica, en comparación con la rama que propugna el paradigma orden a partir del caos, la que con pocos adeptos sigue siendo la más resistida.

La flecha del tiempo

Para Prigogine el caos tiene un doble significado. Hay un caos pasivo, el del equilibrio térmico que prevé la segunda ley de la termodinámica, y un caos activo, propio de los sistemas alejados del equilibrio y productor de orden.

Ello surge como resultado de su re-interpretación de la segunda ley de la termodinámica, la que es aplicada por Prigogine también a los organismos vivos, y constituye el punto central de su propuesta.

Para Prigogine la entropía, por un lado, hace referencia a los intercambios entre un sistema y el mundo exterior, y por otro lado, describe cuánta entropía tiene lugar dentro del sistema. Para no violar la segunda ley es necesario que la suma de ambas sea positiva, es decir que la entropía aumente.

Según Prigogine en un sistema alejado del equilibrio puede aumentar la entropía resultante del intercambio entre el sistema y el mundo exterior (1º término) y disminuir la entropía local (2º término), y mantenerse sin embargo el aumento de entropía, es decir, no violar la segunda ley de la termodinámica.

La disminución de la entropía local se traduce en un aumento de la *autoorganización* interna. Prigogine llama "estructuras disipativas" a estas autoorganizaciones que surgen del desorden. Este nombre expresa una paradoja, pues en tanto *estructura* sugiere orden, organización, la *disipación* sugiere dispersión, desorden; se pone de manifiesto así la relación existente entre el proceso de autoorganización y la producción de entropía.

Esta reinterpretación de la segunda ley de la termodinámica es un intento por otorgar un nuevo significado al caos: el caos aparece como generador de orden. "Hoy esto parece muy simple, casi trivial. Ahora es ley que la gama no lineal, lo que está lejos del equilibrio permite que surjan estructuras, produce orden a partir del caos" (Prigogine, 1996: 15).

La segunda ley tal como la interpreta Prigogine muestra a la reversibilidad como una ilusión. Para la física newtoniana y para la física cuántica el tiempo es reversible, puede invertirse el sentido de las velocidades de los componentes de un sistema. La termodinámica de los procesos irreversibles imprime una dirección al tiempo, rompe con la simetría temporal de la física clásica, en la que pasado y futuro son indistintos.

La entropía es el elemento esencial que aporta la termodinámica, ciencia de los procesos irreversibles. Se puede pensar en la descomposición radioactiva, en la fricción o en la viscosidad que modera el movimiento de un fluido. Todos esos procesos poseen una dirección privilegiada en el tiempo, en contraste con los procesos reversibles, semejantes al movimiento de un péndulo sin fricción (...) La naturaleza nos presenta a la vez procesos irreversibles y procesos reversibles, pero los primeros son la regla y los segundos la excepción (Prigogine, *ibid.*: 24).

En cualquier sistema alejado del equilibrio el aumento de entropía indica entonces la direccionalidad hacia el futuro y permite el surgimiento de estructuras organizadas. Los procesos irreversibles desempeñan para Prigogine un papel constructivo en la naturaleza: son generadores de orden. El caos es productivo. Los procesos irreversi-

bles en la naturaleza están asociados a la *flecha del tiempo*. La irreversibilidad es intrínseca a la naturaleza. “La materia es ciega al equilibrio allí donde no se manifiesta la flecha del tiempo, pero cuando ésta se manifiesta lejos del equilibrio, la materia comienza a ver (...) Nosotros no engendramos la flecha del tiempo. Por el contrario, somos sus vástagos” (Prigogine, *ibid.*: 12).

En todo sistema irreversible hay una pérdida de “información” que no se recupera; esta “barrera de la información” o “barrera entrópica” impide regresar al pasado, es decir, reinvertir temporalmente el proceso como pretendían la física clásica o cuántica. La flecha del tiempo rompe con la simetría temporal.

Para Prigogine se trata de un “nuevo principio de incertidumbre”: así como Heisenberg señalaba que era imposible conocer con total precisión la velocidad y la posición de una partícula atómica, Prigogine advierte que es imposible predecir el comportamiento de los sistemas complejos más allá de cierto límite. La barrera entrópica pone un límite a nuestro conocimiento.

Cuando el tiempo transcurre hacia delante el azar desempeña un papel importante, puesto que las fluctuaciones y las inestabilidades pueden hacer que el sistema cambie su rumbo inicial; pero cuando el tiempo es reversible todo está predeterminado, el azar no juega ningún papel en la evolución de los sistemas. Con la flecha del tiempo hay lugar para la novedad y la creatividad en la naturaleza.

La flecha del tiempo permite explicar también el origen del universo.

Consideramos que el Big Bang es el proceso irreversible por excelencia. La irreversibilidad resultaría de la inestabilidad del pre-universo, inestabilidad inducida por las interacciones entre la gravitación y la materia. En esta perspectiva, nuestro universo habría nacido bajo el sello de la inestabilidad, y nociones como la de auto-organización (...) podrían también aplicarse a las primeras etapas del universo (Prigogine, *Ibid.*: 181).

El caos es activo. La entropía permitió el surgimiento de estructuras disipativas que dieron origen a la vida. El caos es fuente de la vida, generador de orden.

Pero la irreversibilidad plantea interrogantes acerca del nacimiento del tiempo. ¿Puede el tiempo un origen definido? ¿Es el tiempo anterior a la existencia? Para Prigogine (*ibid.*: 183) “el tiempo es eterno, tenemos una edad, nuestra civilización tiene una edad, nuestro universo tiene una edad, pero el tiempo no tiene comienzo ni fin”. El tiempo es anterior a la existencia. Esta posibilidad resulta para Prigogine la “alternativa más razonable”.

Prigogine se instala en el centro de un debate filosófico antiguo: la dualidad ser-devenir. El determinismo y la simetría temporal de la física clásica constituyeron un triunfo del ser sobre el devenir. La termodinámica de los procesos irreversibles intenta dar una respuesta al “dilema de Epicuro” de cómo reconciliar determinismo y libertad, introduciendo el indeterminismo y la asimetría temporal en las leyes de la física.

Prigogine propone un cambio en la forma de concebir la práctica científica. La ciencia es un diálogo con la naturaleza y no un monólogo arbitrario del científico. En la construcción de las estructuras conceptuales se resignifica la relación entre el que conoce y lo conocido. En este “diálogo” el científico puede ser “afectado” por la naturaleza. “Uno de los grandes proyectos de occidente ha sido entender la naturaleza. No debe confundirse con la idea de controlar la naturaleza. Ciego sería el amo que creyera entender a sus esclavos porque obedecen sus órdenes” (Prigogine, *ibid.*: 167). Para Prigogine la ciencia es algo más que una herramienta técnica o económica, ella ha construido también una “filosofía de la naturaleza”. Prigogine nos habla de un *reencantamiento de la naturaleza* que implica una reformulación de la racionalidad científica y de las leyes de la naturaleza.

La naturaleza es *creativa*: cada nivel de organización es algo totalmente nuevo, no previsto en el nivel de organización anterior. Ello debido al papel que juega el azar en los procesos autoorganizativos, cuyo ejemplo máximo es el surgimiento de la vida. Hay novedad y actividad espontánea en la naturaleza.

El determinismo abrió un abismo entre el hombre y el mundo. La Física estudiaba al mundo como un sistema ordenado, con leyes eternas y procesos reversibles en el tiempo, pero ignoraba la inestabilidad, la evolución y la irreversibilidad propia de los seres vivos. Como señala Monod, el hombre queda “al margen del universo en el que debe vivir, un universo sordo a su música e indiferente a sus esperanzas, a sus sufrimientos y a sus crímenes”⁴. Prigogine (ibid.: 15) cree que con la termodinámica de los procesos irreversibles

asistimos al surgimiento de una ciencia que ya no se limita a situaciones simplificadas, idealizadas, más nos instala frente a la complejidad del mundo real, una ciencia que permite que la creatividad humana se vivencie como la expresión singular de un rasgo fundamental común a todos los niveles de la naturaleza.

La flecha del tiempo reconcilia al hombre con la naturaleza. Para la física clásica y cuántica la probabilidad estaba asociada a la ignorancia del observador, para la termodinámica de los procesos irreversibles la probabilidad es la expresión de la dinámica caótica inherente a todo sistema dinámico no lineal. La física newtoniana era la expresión de un conocimiento acabado que alcanzaba la *certidumbre*, para Prigogine las leyes de la física son sólo *posibilidades*. Las leyes evolucionan como las especies. Esto conduce a la necesidad de plantear nuevas leyes en la naturaleza que tengan en cuenta la inestabilidad y el caos propios de los fenómenos naturales.

Acaba así el sueño de una teoría única del universo que descubra el elemento común, constitutivo de la materia, y fije las leyes eternas para el comportamiento de los fenómenos.

Puedo solamente ver que descubrimos nuevos niveles de comprensión, a menudo producimos nuevas ideas, y esto es un proceso. No creo que podamos hablar del fin de este proceso, parece muy lejano. Al menos para mí, estamos en la prehistoria de la ciencia, sólo empezamos a entender el mundo (Prigogine, 1994: 417).

Prigogine intenta transmitir un mensaje de optimismo: descreer del determinismo implica abrir un espacio de juego a las *utopías*. Hay lugar para la novedad tanto en la naturaleza como en la historia. Debemos rechazar la tentación de lo eterno, dice Prigogine. El tiempo, la irreversibilidad, la historia son la única esperanza. En su progreso la ciencia puede colaborar en la construcción de una humanidad que otorgue un espacio de mayor participación y creatividad a los sujetos. “Tengo la convicción de que estamos próximos a una descripción mas aceptable de la realidad, que eluda la alienación e incluya la esperanza en el futuro” (Prigogine, ibid.: 411).

La propuesta de Prigogine está cargada de especulaciones metafísicas, lo que le ha valido un gran descrédito en la comunidad científica. Las conclusiones a las que arriba, dicen sus críticos, tienen que ver más con cambios en la concepción del mundo que con verdaderas innovaciones en la teorización científica.

Katherine Hayles (op. cit.: 124) afirma que algunas conclusiones a las que llega Prigogine no están respaldadas experimentalmente, pero que sin embargo escasamente se reconoce su carácter “conjetural”. “Ciertos hechos que han sido ampliamente verificados se presentan de la misma manera que las especulaciones respaldadas por escasa o ninguna confirmación experimental”. Prigogine no distingue claramente entre seres vivos o moléculas

⁴ Citado por J. Wagensberg en “La necesidad del azar”. Pág. 34.

las al referirse a los procesos autoorganizativos, por lo que esta autora considera que sus afirmaciones adquieren una cualidad antropomórfica que es difícil encontrar en otros artículos científicos acerca del caos.

Las afirmaciones de Prigogine se encuentran así en “la frontera de la credibilidad científica”. Se lo considera como uno de los “nuevos místicos científicos”. Se ha llegado a afirmar incluso que “lo más parecido a un consenso acerca de la obra de Prigogine es que cae en alguna parte del espectro limitado por la ciencia responsable y la tecnología del campo unificado del Maharishi Mahesch Yogui” (Briggs y Peat, 1994: 149).

Conclusiones

Las teorías científicas están culturalmente condicionadas. Hay una trama cultural de la cual ellas emergen y a la cual, a su vez, ellas configuran.

La ciencia, los procesos culturales y la subjetividad humana están socialmente contruidos, recursivamente interconectados: constituyen un sistema abierto. Precisamente, de estas interfaces, de sus descentramientos y conflictos surgen aquellas configuraciones científico-culturales complejas que conforman y caracterizan el espíritu de una época. Sin embargo, estas configuraciones transversales son multidimensionales, no son ni homogéneas ni estáticas, sino que presentan polaridades antinómicas y densidades diversas (Schnitman, 1994: 18).

La teoría del caos emerge en el contexto de la cultura contemporánea, la que ha sido definida como *posmoderna*. Katherine Hayles considera a la cultura posmoderna como *ambivalente*. Una expresión de esa ambivalencia es la doble manera que tiene la teoría del caos de relacionarse con las estructuras totalizadoras.

La ciencia del caos comparte con otros posmodernismos una profunda ambivalencia hacia las estructuras totalizadoras. Por una parte, celebra el desorden que los antiguos científicos ignoraron y desdijeron, y no ve en el flujo turbulento un obstáculo para el progreso científico, sino una gran corriente llena de torbellinos de información que rescata al mundo de la estéril repetición. Y por la otra, muestra también que cuando concentramos nuestra atención en las simetrías recursivas subyacentes, pueden revelarse las profundas estructuras que sustentan al caos (...) cuestiona las estructuras totalizadoras pero contribuye a mantenerlas (Hayles, op. cit.:358).

La teoría del caos posiblemente no ha renunciado al sueño de una teoría unitaria. Limita la validez de la mecánica newtoniana, pero no aboga por el fin de las teorías totalizadoras.

La ambigüedad de la teoría del caos en su relación con las estructuras totalizadoras se encuadra dentro de una ambigüedad mayor, que evidencia las diferentes maneras en que el caos ha sido “recuperado” tanto por la ciencia como por las humanidades. Hayles señala que, en tanto para las ciencias sociales el “caos” estuvo asociado durante los años sesenta a la denuncia de los fundamentos ideológicos de los proyectos políticos universalistas y totalizadores, para los teóricos de la nueva ciencia es posible reconocer estructuras de orden en los sistemas caóticos, o bien concebir al caos como fuente de orden, como generador de estructuras organizadas. Desde este punto de vista la teoría del caos no criticaría las teorías totalizadoras, asociadas históricamente con la idea de *orden*.

La cultura posmoderna autoriza esta ambigüedad en el tratamiento del caos. Por una parte permite, desde las humanidades, entender al caos como una derrota de los proyectos totalizadores; por la otra, desde la ciencia intenta racionalizarlo, conceptualizarlo construyendo así nuevas totalizaciones.

El estudio del caos no ha provocado entre los científicos una crisis acerca de la legitimidad de su saber. Se han cuestionado, si, algunos “presupuestos” de la actividad científica, como la proporcionalidad entre las causas y los efectos o el alcance de las predicciones, pero es difícil hablar aún de un “cambio de paradigma”. Una prueba de ello es el poco prestigio del que goza Prigogine dentro de la comunidad científica. La línea que él representa dentro de la teoría del caos propone, entre otras cosas, un cambio en la manera de entender la práctica científica. Es por ello que las consecuencias -filosóficas- de su propuesta van más allá de lo que los científicos están dispuestos a admitir. Prigogine no es un “científico serio”, es casi un “místico”, dicen. Prigogine es el símbolo de un cambio, de un giro epistemológico con el que el resto de los científicos aún no se identifican. La resistencia a la “radicalidad” de su propuesta es una prueba de que dentro de esta “ciencia en devenir”, como la llama Prigogine, subsisten aún presupuestos de la “ciencia normal”.

Así, las expectativas acerca de cuáles son las consecuencias del desarrollo de esta nueva línea de investigación son diferentes para las humanidades que para la ciencia. En las ciencias sociales se ha instalado la errónea creencia de que el estudio de los sistemas no lineales en la ciencia implicaba una proclama sobre la “muerte del determinismo”. Pero desde la ciencia se habla de “caos determinista” para hacer alusión a la aleatoriedad presente en los sistemas dinámicos no lineales, los que sin embargo presentan ciertas regularidades en su comportamiento. La ciencia ha impuesto límites al determinismo, pero no lo ha desterrado. El caos ha sido “incorporado” a la ciencia, pero ésta sigue siendo determinista.

Como señalan algunos críticos, el caos adquirió un significado mítico, casi “mágico” dentro de las ciencias sociales, que difiere del concepto de caos que manejan los científicos. Para estos últimos el caos presente en los sistemas dinámicos no lineales puede ser *controlado y utilizado*, pues “se está comprendiendo que, en lugar de evitar la no linealidad y la complejidad, se las puede emplear para disponer de sistemas más flexibles, rápidos y de comportamientos insperados que presentan una amplia gama de posibilidades” (Sametband, 1994: 139).

En oposición al reduccionismo “la nueva ciencia” se interesa por comprender particularmente el concepto de *totalidad*. Se comprendió que “sin conciencia de la unidad de las cosas, la ciencia sólo nos puede dar una naturaleza en pedazos; con más frecuencia sólo nos da pedazos de naturaleza” (Briggs, op. cit.: 202). La “complejidad” se relaciona justamente con las interrelaciones, las interacciones, las correspondencias y la unidad características de los fenómenos naturales.

La “globalización” pone de manifiesto que esta complejidad no es privativa de la naturaleza; el mundo de la política y la economía funcionan también como “sistemas complejos”. Edgar Morin (1994: 438) señala que en esta “complejidad planetaria” rige el “principio ecológico de la acción”: “la acción escapa a la voluntad del actor político para entrar en el juego de las inter-retroacciones del conjunto de la sociedad”. Este principio señala que las consecuencias últimas de una acción no son predecibles. Pueden desencadenarse acontecimientos no deseados o no esperados. Ocurre lo mismo que en la naturaleza.

La complejidad define nuestra época. Pequeñas causas pueden provocar grandes efectos, no sólo en la naturaleza sino también en el mundo de la política y la economía, donde hoy también se escuchan términos como “no linealidad”, “complejidad”, “fragmentación”.

Si tenemos en cuenta que los discursos científicos son procesos inmersos en una trama sociocultural, que “tanto la ciencia como la cultura son procesos constructores de y construidos por procesos sociales” (Schnitman, op. cit.: 17), es posible afirmar que la nueva ciencia, su visión del caos y el papel que otorga al azar, están “construidos” desde un contexto histórico concreto, al cual, a su vez, ayudan también a configurar. Así, “toda

pretensión de unificar en términos categoriales el presente o la definición de la época moderna en el terreno de las categorías epistemológicas tiene como correlato en el terreno de las prácticas políticas y en el terreno de la ética, la sumisión a un principio coercitivo de unidad” (Jiménez, 1994: 445).

Si comprendemos desde aquí el cambio epistemológico cabe preguntar entonces hasta qué punto la teoría del caos socava los universalismos, revaloriza lo “local” frente a lo “global”, o pone fin a los discursos homogeneizantes.

El caos, la impredecibilidad, la fragmentación, la complejidad se asocian a la idea de “inestabilidad”: lo *eterno* es sólo una ilusión, asistimos al fin de las certidumbres. Este es, precisamente, el lugar donde se instala otra ambivalencia. Junto a la esperanza en la efectividad de la acción individual, que permita escapar del escepticismo y creer que es posible construir el futuro, se instala el desamparo, la “sospecha” de que el mundo ya no es un lugar seguro y confortable

...como aún las fluctuaciones pequeñas pueden crecer, nuestra actividad individual no está condenada a la insignificancia. Por otra parte, esto también representa una amenaza, pues en nuestro universo la seguridad de las reglas estables y permanentes parece haber desaparecido. Vivimos en un mundo peligroso e incierto que no inspira confianza ciega (Briggs, op. cit.: 151).

¿Estamos ante la emergencia de una nueva racionalidad científica, o ante la presencia de una mera “contrariedad doxológica” en el seno de una misma episteme? ¿Han sido redefinidas las reglas del “juego de la ciencia”?

La ciencia, diría Nietzsche, nos sigue ofreciendo la *ficción* de un “mundo verdadero” que ayude a mitigar la angustia ante el “caos”. El mundo de las sustancias, de las causas y de los efectos, de las categorías lógicas no ha sido aún “destruido”.

BIBLIOGRAFÍA

- BERMAN, Morris (1987): *El Reencantamiento del Mundo*, Chile, Ediciones Cuatro Vientos.
FRIED SCHNITMAN, Dora (1994): *Nuevos Paradigmas, Cultura y Subjetividad*, Argentina, Paidós.
HAYLES, Catherine (1993): *La Evolución del Caos*, España, Gedisa.
MONDOLFO, Rodolfo (1993): *El Pensamiento Antiguo*, Tomo I, Argentina, Losada.
PRIGOGINE, Ilya (1996): *El Fin de las Certidumbres*, Chile, Editorial Andrés Bello.
SAMETBAND, José (1994): *Entre el Orden y el Caos: La Complejidad*, Argentina, FCE.
SHAW, Robert y otros (1991): “Caos”, *Scientific American*, N° 11, España, pág. 16-29.
WAGENSBERG, Jorge (1979): “La Necesidad del Azar”, *Mundo Científico*, N° 1, España, pág. 32-43.