

CAOS, ¿ES NUESTRO PADRE EL VILLANO?

JOSÉ E. PICANS SUSACASA^(*)

Sucede que una misteriosa clase de caos acecha detrás de cada fachada de orden, y que, sin embargo, en lo más profundo del caos acecha una clase de orden todavía más misterioso.

Douglas Hofstaeder

Nuestro caos de cada día

Para todos nosotros es evidente, aunque para unos más que para otros, que existen muchos fenómenos desorganizados en los que no podemos encontrar una ley de funcionamiento o reunir la suficiente cantidad de información que nos permita prever el desenvolvimiento futuro de los mismos.

Comúnmente no hacemos diferencia entre fenómenos desordenados o azarosos y en general utilizamos indistintamente el término caótico para agruparlos. Cuando decimos, por ejemplo, "esto es un caos" por lo general nos referimos a algún fenómeno que está aparentemente exento de lógica u organización. Un claro ejemplo de esto es el estado de la habitación de un hijo adolescente o el movimiento de las pelotitas de lotería dentro del bolillero.

Nuestra posición al lidiar con estos fenómenos, es frecuentemente la de la resignación conformista al asociar el caos con el azar, o la de la esperanza infundada para aquellos que apostaron en una quiniela. Aceptamos con disgusto, pero como algo común, el hecho de que el pronóstico del tiempo sea equivocado y nos sorprenda un

chaparrón sin paraguas o el hecho de que nos pesque un embotellamiento de tránsito y no podamos prever la hora de llegada a nuestro destino, o las dos cosas, para los más desdichados. Ambos fenómenos son caóticos y aunque a veces nos parezca lo contrario, no es culpa de nadie el no poder predecirlos.

La experiencia cotidiana nos muestra además, que un sistema ordenado tenderá al desorden o al caos de manera natural, fenómeno evidente para la mayoría si tomáramos como objeto de estudio nuestra propia casa. Las ruinas de otrora imponentes ciudades, el agua que se derrama de un vaso, la ruptura del mismo vaso, incluso la muerte, que solo deja restos desordenados, son experiencias cotidianas del tránsito orden-desorden y nos muestran claramente cómo con el tiempo la organización se transforma en caos.

La transformación del orden en caos ocurre también constantemente y de manera natural ante nuestros ojos sin necesidad de esperar largos períodos de tiempo. Por ejemplo, no nos asombramos para nada cuando comprobamos que en algunos lugares de un río la corriente parece claramente

ordenada y en otros presenta un movimiento imposible de predecir o caótico. Tampoco nos quita el sueño el hecho de que el humo de un cigarrillo parece claramente ordenado al comienzo de su ascenso y en la medida que lo hace, toma formas impredecibles y aparentemente nunca repetidas de cigarrillo en cigarrillo.

Por demás, la mayoría de nosotros no tiene evidencias cotidianas de que a partir del caos se genere orden. Digamos, que la habitación del chico se auto-organice sin necesidad de las consabidas peleas o que con el tiempo se construyan pirámides espontáneamente a partir de la arena del desierto (esta, al menos, sería una explicación sobre el origen de las pirámides que de seguro, nunca antes habrán escuchado).

¿Será que nuestra percepción cotidiana nos intuye correctamente acerca de la unidireccionalidad del tránsito entre orden y desorden, o que quizás no prestamos la suficiente atención al tema?

El desorden, que comúnmente asociamos con el caos, nos rodea como una experiencia cotidiana y la mayor parte de nuestra vida la pasamos luchando en contra de él, ya sea construyendo objetos,

minada medida tenemos la idea del caos como un villano misterioso e impredecible, que se resiste a nuestra lógica, al que el tiempo favorece en su disputa por destruir todos nuestros logros y contra el que debemos luchar constantemente para que nuestra obra pueda perdurar en el tiempo.

Pero sería posible, que al estilo de alguna famosa y taquillera película, ¿el villano pudiera ser nuestro padre?

El caos para la ciencia: ¿la oveja negra?

Hasta hace unos años el enfoque científico generalizado acerca del orden y el caos, no difería del enfoque intuitivo común basado en la experiencia cotidiana. En general, la ciencia adoptaba una posición resignada y conformista respecto al caos, asociándolo frecuentemente con el azar. Muchos fenómenos caóticos que no pueden ser explicados por las teorías o modelos más modernos se consideraban, y aun muchos consideran, fenómenos al margen, ruidos molestos, excepciones que validan la regla, en fin, la oveja negra del rebaño.

La visión de muchos científicos era, y aún hoy es, determinista. Según esta visión, si conocemos las leyes que rigen un determinado fenómeno y las condiciones iniciales en un momento dado, podremos entonces predecir el comportamiento de dicho fenómeno en cualquier momento posterior o anterior. Esto sería una regla aplicable a todo el universo y describiría su funcionamiento.

En el caso de un fenómeno caótico, siempre según el determinismo, lo que nos faltaría sería el conocimiento de la ley que rige el funcionamiento del fenómeno o de alguna de las condiciones iniciales, por lo que todo se reduce a esperar hasta que dicha ley pueda ser descubierta o las condiciones del fenómeno en un momento dado puedan conocerse con suficiente

exactitud. O sea, todo sería cuestión de paciencia y esfuerzo.

Las cosas estaban así y aunque algunos fenómenos se resistían a la ciencia, lo cierto es que los éxitos científicos en todos los campos eran y son resonantes en cuanto a la descripción y posibilidad de cálculo y predicción de numerosos y disímiles fenómenos. De esta forma, aquellos casos de comportamiento caótico eran en su mayoría ignorados por los científicos, esperando tiempos mejores...

Hasta que llegaron tiempos mejores...

En una buena parte de nuestra experiencia cotidiana existe cierta proporción entre causa y efecto. Por lo general, una pequeña causa produce un efecto pequeño y viceversa, a excepción quizás de algunas discusiones domésticas. Estos sistemas llamados lineales han concentrado la mayor parte del estudio científico, entre otras cosas porque sus resultados suelen ser predecibles. Por el contrario, los sistemas en los cuales la relación causa-efecto no es proporcional, se conocen como sistemas no lineales.

Ya desde 1908, el matemático francés Henri Poincaré había observado y advertido sobre la imposibilidad de calcular con exactitud la evolución de determinados sistemas matemáticos no lineales. En aquel momento, no le dieron importancia a este hecho, pese a que la merecía, y solo algunos matemáticos siguieron trabajando en esta línea, la mayoría de ellos igualmente ignorados.

No es hasta los años 60 en los que ocurre un hecho tecnológico verdaderamente importante que posibilita a los científicos comenzar a lidiar con el caos: el surgimiento de la computación.

Edward Lorenz, un matemático norteamericano devenido en meteorólogo, allá por 1966, empezó a trabajar en un modelo com-

putacional para predecir el clima y así evitar los chapuzones involuntarios. En aquel momento, se daba por descontado que con un modelo computacional suficientemente bueno se lograría pronosticar el tiempo con muy buena aproximación. Resultó que en la etapa de pruebas del modelo, Lorenz estaba tratando de reproducir resultados que ya había obtenido antes y descubrió que estos se tornaban impredecibles ante la más mínima variación de cualquier parámetro de entrada. Digamos, una milésima de variación de cualquier parámetro producía resultados impredecibles.

Por otro lado, estaba el químico belga Ilya Prigogine trabajando en algunos sistemas químicos muy alejados del equilibrio. Estas investigaciones, además de valerle un viaje a Estocolmo en 1977 y engrosar su cuenta bancaria, dieron como resultado la observación de un fenómeno sumamente curioso en el que una reacción química caótica empezaba espontáneamente a comportarse organizada.

Lorenz y Prigogine, los precursores

Resulta entonces que, ante nuestras narices, existen también muchos fenómenos no lineales, en los que una pequeñísima causa produce un gigantesco efecto. Según los trabajos de Lorenz, hay sistemas naturales tan comunes como la atmósfera, que cuando se tratan de modelar utilizando las herramientas matemáticas existentes (nada más organizado que las matemáticas, o al menos eso creíamos todos...), presentan una fuerte desproporción entre causas y efectos. Este tipo de sistemas no lineales suele tener resultados impredecibles cuando se los estudia.

Digamos que la cuestión pasa por la precisión con que funciona la naturaleza. Casi todos nosotros hemos utilizado una calculadora científica y apuesto a que muchos nos hemos preguntado para qué

dispone de nueve lugares decimales si raramente utilizamos dos. Pues resulta que incluso esa precisión es insatisfactoria para el caso de sistemas no lineales que poseen una gran dependencia, también llamada dependencia sensible, de los parámetros de entrada. Si, por ejemplo, dispusiéramos de un buen modelo matemático para calcular el clima e intentáramos calcular el clima para mañana, un parámetro de entrada del modelo con una diferencia en el último lugar decimal de nuestra calculadora, podría significar la diferencia entre un día soleado y un tornado.

Al parecer así funciona la naturaleza y por eso no podemos calcular con exactitud muchos eventos naturales. Aun si conociéramos la precisión que se necesita para un cálculo acertado, esta sería técnicamente imposible de obtener para la mayoría de los casos.

Es aquí donde viene a colación el famoso ejemplo de la mariposa que bate sus alas en algún lugar del mundo y al tiempo, como conse-

cuencia del vuelo de la mariposa, se desencadena una tormenta al otro lado del globo terráqueo. Este ejemplo, aunque muy vapuleado (la mariposa y la tormenta se las localiza en disímiles lugares según el autor), al que se le ha llamado *efecto mariposa*, describe acertadamente el caso de los sistemas de dependencia sensible, en los que la asimetría entre causas y efectos los convierte en impredecibles. Aunque en verdad, nunca podremos saber si las tormentas son provocadas por las mariposas (en cuyo caso ya habría más de un listo pensando en considerarlas plaga), o por cualquier otra causa.

Por otra parte, el hallazgo de Prigogine es verdaderamente asombroso y tan alejado de nuestra cotidianidad, fuertemente regida por la estadística, como que todas las moléculas de oxígeno de la habitación en la que estamos, decidan pasarse súbitamente a la mitad contraria y nos dejen como pez fuera del agua. Este absurdo, desde el punto de vista de nuestra

percepción cotidiana, es algo parecido a lo que observó Prigogine en sus reacciones químicas y le proporcionó evidencias científicas de sistemas que pasan espontáneamente de un estado de desorden a orden.

La descripción de los sistemas de dependencia sensible y el surgimiento espontáneo de orden a partir del desorden es algo que conmovió a la comunidad científica y motivó a seguir investigando sobre el tema para llegar a lo que hoy se ha dado en llamar la *Teoría del Caos*.

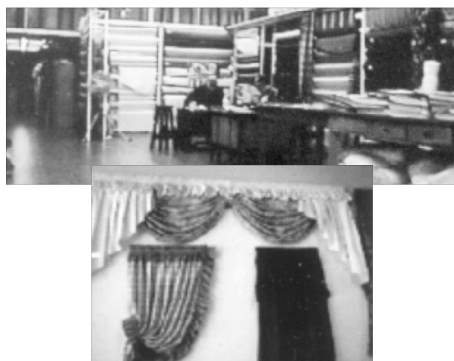
¿Teoría y Caos?

Aunque parezca un contrasentido teorizar sobre algo como el caos, que aparentemente no tiene lógica ni se puede predecir, los trabajos de Prigogine muestran que el caos puede transitar espontáneamente hacia un estado de orden. O sea, hay en el caos cierta lógica interna, cierto mecanismo que produce cambios de lo caótico a lo ordenado

JAIRO

Decoraciones

Presenta la línea más completa para **LA EMPRESA y EL HOGAR**

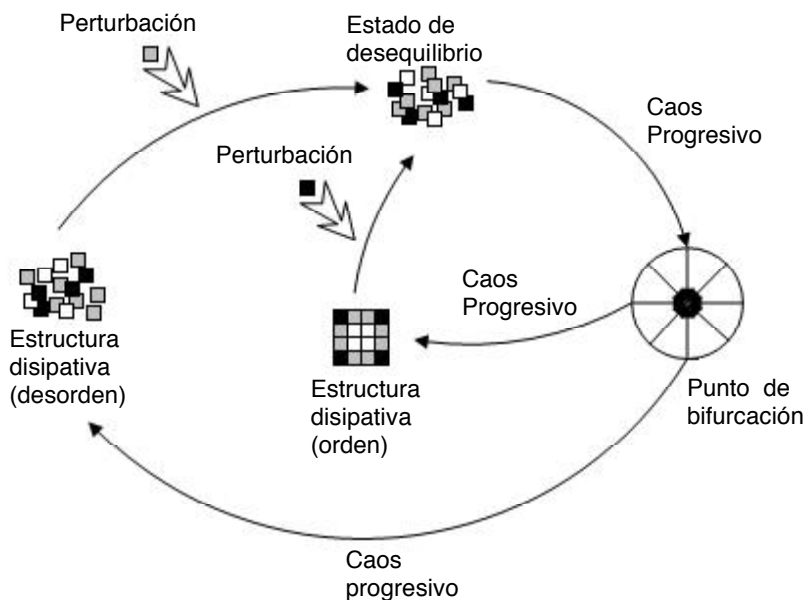


- **CORTINAS** de todo tipo
confección e instalación
Verticales y venecianas - confección a medida
- **PISOS**
vinílicos
- **ALFOMBRAS**
venta e instalación - amplio stock permanente
- **PAPELES**



Diag. 77 N° 464 (B1900FNT) La Plata - Tel.: 483 2687





Cuando los procesos caóticos salen del equilibrio pueden auto-organizarse en las llamadas estructuras disipativas. Conocer las condiciones necesarias para que el proceso evolucione hacia uno u otro estado, o sea, conocer el "punto de bifurcación" de un proceso caótico, es una de las mayores ambiciones de los científicos que estudian el caos.

y viceversa. Esta clase de orden está influida por el azar, pero no es azarosa en esencia y puede ser comprobada en muchos sistemas reales.

Veamos este asunto... También Lorenz comprobó que si bien los sistemas de dependencia sensible que él estudió mostraban resultados impredecibles, estos resultados no eran azarosos, sino que todos estaban dentro de un rango determinado. Quiere decir, que aun el desorden tiene sus reglas y si bien el resultado de un cálculo para el clima, por ejemplo, no puede ser preciso, no obtendremos resultados azarosos como por ejemplo, la presencia al mediodía, de nieve en el desierto.

Así comenzó a redondearse un significado del término caos para la ciencia, que como muchos otros, difiere del significado que le asociamos comúnmente. Para la ciencia un fenómeno caótico es aquel que presenta una dependencia sensible respecto a sus parámetros de entrada, cuya evolución no puede ser calculada con exactitud, pero que esta no es azarosa sino que posee cierta lógica. Esa lógica es precisamente la que los científicos están tratando de determinar

actualmente y justamente para eso han elaborado la Teoría del Caos.

En la actualidad, Lorenz y Prigogine son los principales exponentes de dos enfoques sobre el caos, que aunque no difieren en cuestiones fundamentales, sí lo hacen en la importancia relativa que dan a los diferentes fenómenos asociados con éste. Los seguidores de Lorenz no dan mucha importancia a los procesos auto-organizativos de los sistemas caóticos y prefieren concentrar sus esfuerzos en calcular el punto alrededor del que evolucionará un sistema caótico en particular, si bien la evolución de este no se puede predecir con certeza.

El punto de vista de Prigogine y sus seguidores, por el contrario, asigna la mayor importancia a los procesos auto-organizativos a partir del caos. Ellos tratan de encontrar las condiciones por las cuales un determinado sistema puede pasar del caos al orden y viceversa.

En general, la Teoría del Caos nos postula un universo diferente de la visión determinista, un universo donde el caos es la generalidad y el orden la excepción. Hay que decir que esta teoría no

se opone a la visión determinista de la realidad, pero considera una excepción los casos donde esta visión es aplicable y como regla general, considera un mundo en el que no pueden predecirse con exactitud los eventos. No importa cuánto nos esforcemos, siempre nos faltará alguna porción de información que por muy minúscula que sea, puede producir un cambio impredecible del comportamiento de todo el sistema que se esté considerando, lo que algunos llaman efecto mariposa que mencionamos previamente.

La idea clásica de la ciencia determinista es que los sistemas en equilibrio pueden verse afectados, y frecuentemente ocurre, por influencias externas que los hagan salirse de dicho equilibrio. El resultado de esta excursión fuera del equilibrio solo puede ser el establecimiento de un nuevo equilibrio que, para influencias externas pequeñas, no se diferenciaría mucho del estado de equilibrio anterior.

La Teoría del Caos en cambio, postula que dada una ínfima influencia externa que produzca un desequilibrio en un sistema dado, este sistema puede evolucionar hacia el equilibrio a la manera de ver determinista, pero también es posible la creación de nuevas estructuras de orden cualitativamente diferentes del sistema original que se mantienen en equilibrio gracias a la energía externa, por eso se las ha llamado estructuras disipativas.

Estas estructuras disipativas también pueden ser sacadas del equilibrio por algún estímulo externo y a su vez pueden evolucionar hacia un estado de caos o hacia nuevas estructuras disipativas, construyéndose así una realidad en forma de espiral sin fin, alternante entre el caos y el orden.

Las causas por las cuales un sistema caótico evoluciona hacia el orden o el desorden pueden ser muy pequeñas e insignificantes, pero debido al 'efecto mariposa' estas se amplifican produciendo que

el sistema transite por uno u otro camino. Es por eso que a la Teoría del Caos se la ha llamado la teoría de lo pequeño: esta teoría reivindica la influencia de causas minúsculas en los grandes eventos. En este contexto, un solo hombre, incluso un niño, podría cambiar el mundo, provocando una guerra, una reconciliación entre enemigos o cualquier otro cambio social significativo.

Dado que la Teoría del Caos visualiza un universo cambiante y alternante entre el caos y el orden, entonces una de sus metas sería conocer bajo qué circunstancias se transita espontáneamente del caos al orden y viceversa. La investigación de este asunto no es cosa fácil ya que, como se ha dicho antes, los modelos de sistema caóticos se basan en ecuaciones fuertemente alineales y en el manejo de enormes cantidades de información, por lo que su estudio es solo posible gracias a la computación.

La Teoría del Caos se puede aplicar a un gran número de fenómenos en los que el orden y desorden se alternan sin que hasta hoy podamos conocer cabalmente las razones y ni hablar, de controlarlos o predecirlos. Entre estos disímiles fenómenos están, por ejemplo, los huracanes, el tránsito vehicular, las evoluciones de la bolsa de valores, los movimientos del músculo cardíaco, la psicología social, etcétera.

Es importante plantear que esta teoría no pretende la predicción determinista de los fenómenos que estudia, es más, desde su punto de vista esto no es posible. Lo que sí se pretende es encontrar el orden o la regularidades dentro del caos. Así, para los diferentes fenómenos a los que se aplica quizás se pueda encontrar el punto crítico: las condiciones que hacen que dicho fenómeno se auto-organice en una estructura disipativa o transite hacia el caos. Quizás también sea posible realizar algunas predicciones estadísticas de la evolución de fenómenos

caóticos bajo determinadas condiciones.

En la actualidad, ya hay quien dice ser capaz de hacer predicciones bursátiles utilizando la Teoría del Caos y hasta hay quienes han sido capaces de detener un infarto cardíaco (probado en animales de laboratorio por el momento) basándose también en esta teoría. Algunos ven en esta teoría la explicación del origen de las galaxias y su evolución, dado que la forma de éstas se asemeja a la de estructuras disipativas provenientes del caos.

Lo cierto es que aún falta mucho por andar en este camino y los resultados de la aplicación de esta teoría a nuestra vida cotidiana aún son sumamente modestos, pero con un inmenso potencial a futuro.

Especulemos un poco

~~— La Teoría del Caos se presta a un sinnúmero de especulaciones apasionantes, la mayoría de las cuales no pueden ser comprobadas ni tampoco rechazadas fácilmente. Una de las especulaciones más interesantes tiene que ver con nuestro origen. Según algunos científicos, la historia de la tierra (unos 4500 millones de años) no es suficientemente larga para justificar desde el punto de vista probabilística, la creación de estructuras tan complejas como nuestro ADN. Esto tiene que ver con el origen mismo de la vida a partir del caldo original, rico en aminoácidos y sometido a condiciones ambientales determinadas. Según estos científicos, la creación de las primeras estructuras biológicas organizadas pudo deberse a un proceso auto-organizativo propio del caos, o sea, a la creación de una estructura disipativa, lo que sería una especie de atajo respecto a la posibilidad de que estas estructuras fueran creadas por la mezcla azarosa de sus diferentes componentes, proceso este que requeriría de un tiempo mucho mayor.~~

Lo mismo podría decirse respec-

to a la evolución biológica. Quizás no sea cosa de probar todas las posibles combinaciones, para lo cual haría falta muchísimo tiempo, sino que los cambios biológicos están manejados por procesos auto-organizativos propios del caos que luego se confrontan con el ambiente en lo que se ha dado en llamar evolución natural.

Esta especulación nos cambia la perspectiva sobre el caos: puede ser un villano intentando constantemente destruirnos, pero acaso sea nuestro padre...

* Lic. en Física, Universidad de La Habana, Cuba.

Lecturas sugeridas

Atlan, H. 1990. Entre el cristal y el humo: ensayo sobre la organización de lo vivo. Debate, Madrid.

Cocho, G. & P. Miramon-tes. 2000. Patrones y procesos en la naturaleza. La importancia de los protegidos. Ciencias 59: 14-22.

Kauffman, S. 1995. At home in the Universe. The search of the laws of self-organization and complexity. Oxford University Press.

Martinez Mekler, G. 2000. Una aproximación a los sistemas complejos. Ciencias 59: 6-9.