



CAOS Y FRACTURA

Carlos Rodríguez Ipiens

"...mientras que las máquinas se encuentran inquietamente vivas, el ser humano permanece preocupantemente inerte..."

D. Haraway

Hasta hace muy poco tiempo, se hacía uso del término CAOS para designar la aleatoriedad.

Sin embargo, ya en 1903, Henri Poincaré (1854-1912), matemático francés, postulaba acerca de lo aleatorio y del azar en los siguientes términos: "El azar no es más que la medida de la ignorancia del hombre", reconociendo a la vez la existencia de innumerables fenómenos que no eran completamente aleatorios -que simplemente no respondían a una dinámica lineal, aquellos a los que pequeños cambios en las condiciones iniciales conducían a enormes cambios en el resultado. Se establece así lo que más tarde Edward N. Lorenz llamará "dependencia sensible".

Podemos considerar esta observación de Henri Poincaré como el embrión de un nuevo paradigma científico: la creación de una nueva Ciencia como reconoce James Gleick en el título de uno de los libros iniciáticos de la teoría y más ilustrativo: "CAOS la creación de una ciencia".

De este modo, podemos anunciar esta Teoría como el primer intento desde la Ciencia Oficial en la búsqueda de las leyes que gobiernan los innumerables fenómenos tan desconocidos en su dinámica y tan naturales y cotidianos a la vez - el clima, el movimiento de las nubes, el aire que se desplaza sobre el ala de un avión, la sangre cuando fluye a través del corazón y todo su sistema dinámico (el infarto como la transición de un estado de regularidad a un estado caótico), las turbulencias en general, las formaciones geológicas, la manera en que las flores silvestres aparecen en un campo, la bandera que ondea, el humo de un cigarrillo, el movimiento de una hoja al caer, las epidemias, los conflictos bélicos, los atascos de tráfico, el comportamiento de la bolsa,...- que no son susceptibles de control con las herramientas calculísticas de las que nos provee la Matemática y la Física actual.

La Ciencia ha tenido tendencia a confundir - no se sabe si por ignorancia como nos adelantaba H. Poin-

caré- el contenido determinista o de azar asociado a un fenómeno atendiendo a su predicibilidad o no. Así, una gran cantidad de fenómenos -generalmente naturales- no predecibles se incorporaban sutilmente al mundo de lo azaroso, quedando así aparcados sin ser sometidos a tratamiento alguno.

¿Son los fenómenos enunciados anteriormente fenómenos de azar? La respuesta es no.

Así, los fenómenos de azar (completamente de azar) -lanzar un dado legal- son no deterministas, pues no podemos predecir de antemano su resultado, pero ésta no es una condición suficiente para que un fenómeno sea completamente de azar, es decir, existen fenómenos de los que no podemos predecir su comportamiento y no son de azar. Es ésta una primera característica, según Edward N. Lorenz, de los fenómenos caóticos.

Así, Lorenz utiliza el término CAOS para referirse a un conjunto de procesos o fenómenos que "parecen" comportarse de acuerdo con el azar aunque, de hecho, su desarrollo esté determinado por leyes bien precisas.

Dependencia Sensible

"Por perder un clavo, el caballo perdió la herradura, el jinete perdió al caballo, el jinete no combatió, la batalla se perdió, y con ella perdimos el reino."

"El aleteo de una mariposa en Pekín puede provocar un tornado en Texas".

La pérdida de un reino y el efecto mariposa no son más que típicos ejemplos de como lo "pequeño" puede provocar (originar) lo "grande".

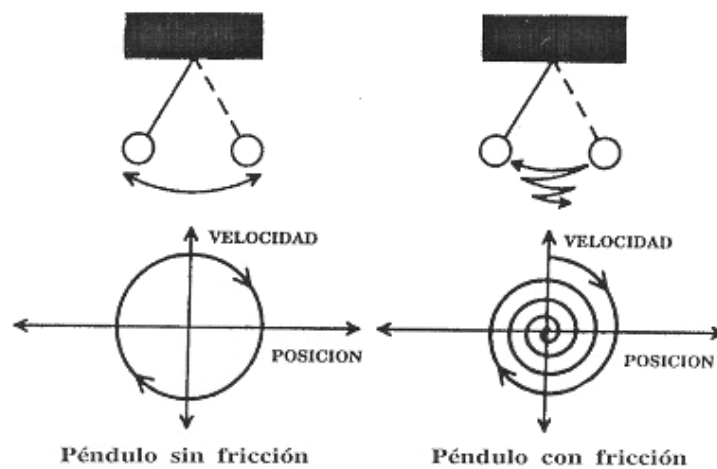
Siguiendo en términos de una exposición no rigurosa, hablemos de los sistemas dinámicos.

Un Sistema Dinámico podemos considerarlo como una colección de partes que interactúan entre sí y se modifican unas a otras a través del tiempo.

El movimiento regular de los objetos, planetas en órbita, péndulos, resortes, bolas que ruedan..., son

fenómenos que se sitúan en lo que llamamos una dinámica lineal, sus comportamientos se describen mediante ecuaciones lineales y las Matemáticas resuelven este tipo de ecuaciones fácilmente. Un Sistema Dinámico decimos que es lineal, cuando pequeños cambios en las condiciones iniciales del sistema no originan grandes cambios en el proceso y resultado final del mismo.

Cuando, por el contrario, la dependencia interactiva entre las partes que configuran el sistema es muy sensible -pequeñas variaciones en las condiciones iniciales provocan cambios substanciales en el resultado final (efecto mariposa) decimos que la dinámica que rige el sistema es no lineal, o que el sistema está sujeto a una dinámica caótica.



que la propia naturaleza. El mundo platónico, el mundo de las ideas, era el universo en donde estas formas euclídeas, formas perfectas, permanecieran como ideales. Para el mismo Platón, el universo de lo humano se caracterizaba precisamente por lo contrario, la imperfección; el universo humano era una imagen imperfecta del universo utópico basado en las formas de la geometría que Euclides postulaba.

Es de esta manera como hasta nuestros días la cultura y la forma de hacer del hombre siguen presas de la idea platónica y siguen intentando cambiar lo que la naturaleza nos da en sus formas por otras "ideales"; así, el hombre es arquitecto de formas generalmente cúbicas, las ruedas han de ser redondas, los jardines rectan-

Una consecuencia inmediata de la dependencia sensible en cualquier sistema es la imposibilidad de realizar predicciones perfectas, ni siquiera mediocres.

Es esta dependencia sensible otra característica que incorporar en la descripción de los fenómenos caóticos; así, podemos decir que un fenómeno es caótico cuando, pareciendo comportarse como un fenómeno de azar, no lo es, y además está sujeto a una dinámica no lineal, esto es, las partes que lo conforman sufren dependencia sensible o son sensiblemente dependientes.

Fractalidad y Atractores Extraños

Será la Fractalidad, como veamos enseguida, otra cualidad inherente a los procesos caóticos.

Desde los comienzos de la creación de la ciencia en Grecia, como cuerpo de doctrina que pretenderá explicar el ser y el comportamiento de nuestro universo, la cultura occidental se ha visto prisionera de la Geometría Euclídea para la explicación de los fenómenos que acaecen, acarreado con ello una cultura heredada de la idea de que los puntos, las líneas, los círculos, los cubos..., son de alguna manera "más naturales"

gulares o a lo más circulares... Puede que sea esta cultura euclídea de nuestro universo lo que nos lleve a la destrucción de las formas naturales, fomentando el impulso por la creación de ciudades cada vez más cuadrículadas tanto en el plano como en el espacio, en todo caso ¿más humanas?

Lo cáustico de esta situación es el uso de la Geometría Euclídea para modelar la naturaleza, de manera que, cuando el modelo no se ajusta a ser explicado con dicha geometría, la ciencia oficial pone en entredicho a la propia naturaleza en vez de a la geometría que utiliza.

Puede decirse que es Benoît Mandelbrot el creador de la geometría fractal, también conocida como geometría de la naturaleza. Después de un periplo profesional bastante largo y variado, Mandelbrot ingresa en la École Normale (París), en el periodo "histórico" en el que nace y se desarrolla en Francia y se exporta a las matemáticas de todo el mundo el fenómeno "Bourbaki". Su dominio en la École Normale fue tan absoluto, e insostenible para Mandelbrot, que huyó de aquella escuela y, diez años después, por la misma razón, de Francia.

Mandelbrot, con su huida, nos suministra una herramienta imprescindible para el estudio del Caos, el objeto fractal, la dimensión fractal, la fractalidad.

Una meta inicial de la nueva geometría fractal es la de descubrir, desde fuera, la forma de diversos objetos, para posteriormente estudiar una de las características principales de cualquier objeto fractal, su dimensión, que no será más que un índice del grado de irregularidad e interrupción que posee. Así, al contrario de las dimensiones habituales (enteras) a las que nos tiene sometidos la Geometría Euclídea, la dimensión de un objeto puede ser muy bien una fracción simple como $\frac{1}{2}$ ó $\frac{5}{3}$ e incluso un número irracional. No obstante, existen objetos fractales, irregulares o interrumpidos, que satisfacen dimensiones enteras 1, 2 y sin embargo no se parecen en nada ni a rectas ni a planos. El término "fractal" nace del adjetivo latino "fractus", que significa interrumpido o irregular.

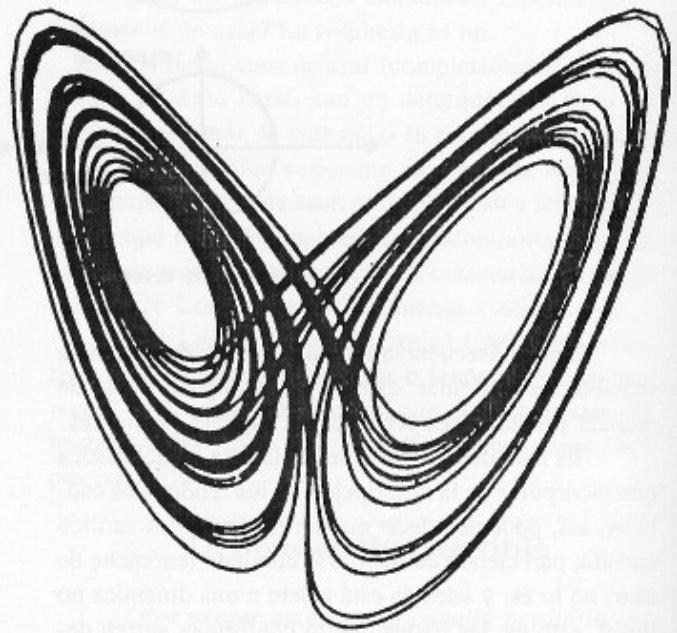
La geometría elemental nos enseña que un punto aislado o un número finito de puntos, constituyen una figura de dimensión 0; que una recta, así como cualquier curva estándar, constituyen figuras de dimensión 1; que un plano o cualquier superficie ordinaria, son figuras de dimensión 2; que un cubo, o una esfera, posee dimensión 3. En la nueva geometría fractal, existen curvas planas muy irregulares para las que su dimensión se encontrará entre 1 y 2, podrá hablarse también en esta geometría de ciertas superficies muy hojaldradas de dimensión intermedia entre 2 y 3, o podremos definir polvos sobre la recta que generan objetos de dimensión comprendida entre 0 y 1.

Como hemos dicho, la dimensión fractal de un objeto es la medida de su grado de irregularidad, considerada a todas las escalas, y puede ser algo mayor que la dimensión geométrica euclídea de un objeto. La dimensión fractal es afín a lo rápido que la medición estimada del objeto aumenta según disminuye el tamaño del instrumento de medida. Una dimensión fractal mayor quiere decir que el fractal es más irregular y que la medición estimada aumenta con mayor rapidez. Para objetos de la Geometría Euclídea (líneas, curvas,...) la dimensión del objeto y su dimensión fractal coinciden.

El espacio de Fase nace como una herramienta en la Física actual, considerado como un espacio hipotético que posee tantas dimensiones como el número de variables necesarias para especificar un estado de un sistema dinámico dado. Las coordenadas de un punto en el espacio de Fase son un conjunto de valores simultáneos de las variables. De esta manera, cualquier estado del sistema parado durante un instante vendrá representado como un punto en el espacio de Fase. Cuando el sistema cambia, el punto se moverá a otra posición del espacio de Fase, y si el sistema se modifica sin tregua en el tiempo (con continuidad), el punto deter-

minará una trayectoria a la que denominamos **órbita**. Un ejemplo sencillo para ilustrar este concepto de espacio de Fase, lo constituye un péndulo que oscila sin fricción una variable sería la posición y otra la velocidad; las dos cambian continuamente; podemos considerar como espacio de Fase un sistema cartesiano en el que cada eje representa a cada una de las variables. La gráfica que obtendríamos sería una curva más o menos cerrada, la cual se repite una y otra vez siempre.

Para el caso en que el péndulo esté expuesto a fricción, no son necesarias las ecuaciones del movimiento para conocer el resultado final; el péndulo perderá constantemente energía a causa de la fricción, y las trayectorias (órbitas) que describen los puntos del espacio de Fase decrecerán en espiral hacia un punto interior, que representa el estado estable, en este caso, el de la inmovilidad absoluta. Este punto final es el ejemplo de **atractor** más sencillo posible, lo podemos imaginar como un imán del tamaño de la cabeza de un alfiler.



Atractor de Lorenz

Podemos considerar un **atractor** en un sistema disipativo como un conjunto límite (puede ser un punto como el de este ejemplo) del cual no emanan **órbitas**.

Pues bien, la conexión entre la Geometría Fractal y la caología nace de la siguiente situación: cuando representamos en un espacio de Fase el estado de un sistema caótico, las órbitas y los atractores asociados a dicho sistema son objetos de dimensión fractal, esto es son fractales. Son estos **atractores** de dimensión fractal los que se denominan **atractores extraños**.

Fue E. N. Lorenz quien en 1963 logró computar el primer atractor extraño, y el primero en descubrir la



dimensión fractal de dicho atractor. Este atractor, llamado de Lorenz (véase figura), se caracterizaba por ser estable, de pocas dimensiones y no periódico. Así lo caracteriza J. Gleick, sus órbitas no se cortaban entre sí, sus lazos y espirales eran infinitamente hondos; jamás se juntaban y jamás se intersecaban. Sin embargo, permanecían dentro de un espacio finito, confinados en una casilla. ¿Cómo acontecía aquello? ¿Cómo cabían en un espacio finito innumerables, infinitas, órbitas? Esto es la fractalidad.

Podemos concluir la caracterización de los sistemas o fenómenos caóticos, por tanto, como aquellos que, aparentando ser fenómenos de azar, no lo son, presentan una dinámica no lineal (dependencia sensible) y su comportamiento llevado al espacio de Fases se caracteriza por la existencia de atractores extraños, atractores de dimensión fractal.

Presentados los sistemas caóticos y, así, la caología como ciencia que se ocupa de su estudio, podemos, dentro de la caología, presentar dos enfoques básicos generales. En el primero, el Caos se considera como precursor y socio del orden y no como su opuesto. Figura central en esta dirección de investigación del Caos es Ilya Prigogine, Premio Nobel por su trabajo en termodinámica irreversible. El título del libro del que es coautor con Isabelle Stengers, *Order out of Chaos* (Orden a partir del Caos) representa básicamente este enfoque.

El segundo enfoque del que podemos elegir como representantes a E. N. Lorenz, Mitchell Feigenbaum, Benoit Mandelbrot, Robert Shaw... destaca el orden oculto que existe dentro de los sistemas caóticos.

El enfoque de los "atractores extraños" difiere del "orden a partir del Caos" por la atención que presta a los sistemas que siguen siendo caóticos, esto es, los sistemas que no generan orden. Mientras Prigogine considera que la línea del orden a partir del caos (línea filosófica) reside en su capacidad para resolver el problema metafísico de reconciliación entre el ser y el devenir, los defensores de la línea de los atractores extraños destacan la capacidad de los sistemas caóticos para generar información. El orden no sería más que una manifestación del desorden, una anécdota.

De cualquier forma, no podemos dejar pasar cómo "sutilmente" existe un nexo entre ambas direcciones. La herramienta **indispensable** que utilizan ambas para un tratamiento efectivo del Caos y la Geometría Fractal: **el ordenador**. Sólo con las nuevas tecnologías de la Computación es posible una investigación positiva en estos campos y en cualquiera de las líneas de trabajo aludidas anteriormente. El propio Mandelbrot ha señalado que la Geometría Fractal depende de los ordenadores como ninguna otra geometría dependió antes de un objeto mecanizado; los ordenadores han

permitido practicar la Matemática como una "ciencia experimental". Así, los fractales generados por ordenador se desenvuelven en una interacción continua y fluida entre ser humano y la "inteligencia" de la máquina, resultado que inscribe fuertemente al Caos y la Geometría Fractal como un nuevo paradigma en el seno de lo que hoy día llamamos posmodernismo.

Asistimos con el posmodernismo a un proceso de desnaturalización de todos los contextos que rodean al ser humano y a la vez al propio ser humano. De este modo, los grandes centros de poder de este planeta codician el control de la tecnología de la computación, tecnología que será la herramienta indispensable para controlar lo que ya, no a tan largo plazo, será nuestro nuevo hábitat: el Ciberespacio. Frente a esta realidad tan incierta, la figura del hombre se hace cada vez más confusa, se encuentra en parte desterrado en un mundo cada vez más fluctuante y fragmentado.

El individuo se diluye así, bajo el efecto del byte, mientras que el tratamiento informático lo reduce a la existencia estadística para constituir un efectivo, un mercado, un público, un electorado, o simplemente una muestra en un sondeo.

Nos encontramos en el instante de la historia donde se dibuja un horizonte, en el que la creación y la curiosidad dan paso al aburrimiento, la educación a la programación de los individuos; un mundo donde la cultura se atrofia mientras que la ciencia y sus aplicaciones se hipertrofian, en todo caso mucha ciencia y poca conciencia.

¿Qué ocurrirá cuando el ser humano quede desnaturalizado y considerado una construcción, un artificio, como cualquier otra cosa? ¿Ese será el momento de la fractura?

BIBLIOGRAFÍA:

- GLEICK, J. *Caos: La creación de una ciencia*. Seix-Barral.
- MANDELBROT, B. *Los objetos fractales*. Metatemas 13. Tusquets.
- LORENZ, E. N. *La esencia del caos*. Debate/Pensamiento.
- BALANDIER, G. *El desorden, la teoría del caos y las ciencias sociales*. Gedisa Editorial.

Carlos Rodríguez Ipiens. I.B. "PABLO PICASSO"