

# DEL MALIGNO, SEÑOR, DEFIÉNDEME...

Pedro Miramontes

Gloria al Padre,  
al Hijo y al Espíritu Santo,  
Como era en el principio,  
Ahora y siempre  
Y por los siglos de los siglos.  
Amén



La escatología cristiana nos propone un mundo creado por Dios en siete días e inmutable a partir de ese momento; las cosas, las relaciones entre ellas, los seres vivos, todo, absolutamente todo, permanece estático y sin cambio.

Yo no creo que esta visión inmovilista del Universo sea exclusiva de las religiones, sean cristianas o no. Más bien, pienso que éstas se han encargado de coleccionar ideas y emociones ya existentes en las comunidades humanas, cuyas causas desconozco y que se pierden en el tiempo.

En la Grecia del siglo VI antes de nuestra era, Parménides de Elea critica la filosofía del cambio constante de Heráclito de Efeso. Para el eleático, el mundo se encuentra en equilibrio eterno y la noción del cambio no es sino una ilusión de nuestros sentidos. Aristóteles formula el concepto de equilibrio en la naturaleza y su mecánica entera se basa en él: sólo la violencia provoca cambios en el estado natural de las cosas del mundo sublunar, que es el reposo.

Independientemente de las razones psicológicas o culturales que hayan nutrido este tipo de creencias, el hecho es que la noción de inmutabilidad y equilibrio permea nuestras sociedades y, consecuentemente, afecta o determina el estilo de trabajo de los científicos. Hace apenas un par de décadas, la teoría cosmológica del Universo estacionario todavía gozaba de cierta credibilidad y aún hoy se publica en su favor. En economía, el cuerpo teórico dominante se llama *teoría general del equilibrio*. Se habla del *equilibrio ecológico* e incluso ciertos grupos ecomísticos le dan una connotación moral y, a menudo, casi religiosa.

No sólo se habla de equilibrio en todas las disciplinas científicas, también suele buscársele afanosamente. Por ejemplo, en ecología matemática es usual que los estudiosos de la dinámica de poblaciones se preocupen fundamentalmente por encontrar las condiciones en el espacio de parámetros bajo las cuales un modelo matemático alcanza su equilibrio estable.

Según esta perspectiva, todo aquello que nos aleje bruscamente del equilibrio (la extinción repentina de grupos de especies, una devaluación monetaria abrupta, un *crack* de la bolsa de valores, un terremoto catastrófico o una revolución social), se considera como algo atípico, aberrante, imposible de describir dentro de los mecanismos con los que habitualmente se explican los fenómenos "normales". Por ello, al tratarse de algo anómalo, se le buscan explicaciones *ad hoc*, fuera de los cuerpos teóricos existentes y que, más que argumentaciones científicas, funcionan como verdaderos *deus ex machina*.

Así, se inventan explicaciones exógenas como la caída de un meteorito en el caso de la extinción del Cretácico, la acción coludida de grupos subversivos como exégesis de las revoluciones sociales y los "errores de diciembre" para lo que todos los mexicanos sabemos y padecemos.

¿Qué hay detrás de estas actitudes? ¿A qué obedece este horror al cambio? Desgraciadamente no tengo respuesta ni es-

toy dispuesto a esperar por los siglos de los siglos para ver si en este mundo reina el Dios de la armonía y del equilibrio o el Maligno que pretende alterar el orden establecido.

Sin embargo, en este ensayo quiero argumentar que los cambios catastróficos son intrínsecos a la naturaleza fluctuante del Universo y, por ende, que no son ni inusitados ni atípicos. Sostengo que obedecen a los mismos mecanismos que provocan los cambios pequeños e invito a los lectores a viajar por el mundo de la no-linealidad a charlar sobre la geometría fractal y a asomarnos a los conceptos esenciales de la criticalidad autoorganizada.

### A GRANDES MALES, GRANDES REMEDIOS

La base para comprender lo que voy a exponer está en el concepto de la *no-linealidad*. Si buscamos ese término en el diccionario no encontraremos nada (al menos en el mío no viene). Recurramos entonces a negar el significado de *lineal*. Veamos: "Lineal. Del lat. *linealis*. 1. (adjetivo, -a). Perteneciente a la línea. 2. (adjetivo, -a). Aplícase al dibujo que se representa por medio de líneas solamente. 3. (adjetivo, -a). En una sola dirección".

Ninguna de las acepciones se asemeja al sentido que le damos en matemáticas o en física, de manera que tendremos que elaborar nuestra propia definición y convenir en ella. Para nosotros, propongo, "lineal" significa que el resultado de una acción es siempre proporcional a su causa: al doble de fuerza, doble de trabajo; a grandes males, grandes remedios. Al factor constante que media entre la causa y el efecto se le llama "factor de proporcionalidad". Cualquier fenómeno que no satisfaga la premisa anterior se llamará "no-lineal".

Aceptar la perspectiva lineal implica que sólo causas o fuerzas catastróficamente grandes pueden producir efectos similares; es este pensamiento el que los

aparta del estudio del resto de los fenómenos. En cambio, la no-linealidad de los mecanismos naturales permite que causas pequeñas produzcan efectos enormes y que causas enormes produzcan efectos despreciables o, incluso, que no engendren nada.

Desgraciada o afortunadamente, según de qué lado de la trinchera se encuentre uno, y como ingeniosamente lo acota Stanislaw Ulam:<sup>1</sup> "...la mayoría de los fenómenos de la naturaleza son no-lineales en el mismo sentido en que la zoología es en su mayoría una zoología de no-elefantes".

Si el Universo es no-lineal, si la no-linealidad invade cada recoveco de la naturaleza, ¿por qué se sigue insistiendo tanto en el enfoque lineal al estudiar los fenómenos?. Gottfried Mayer-Kress<sup>1</sup> se pregunta lo mismo y lo explica con la siguiente metáfora: "La situación de la mayoría de las ciencias tradicionales que persisten en usar enfoques lineales es la misma que la de una persona que pierde las llaves del carro y las busca bajo la luz de un farol porque en el sitio donde las perdió está demasiado oscuro para poder buscar".

### LA CRITICALIDAD Y LA PILA DE ARENA

En matemáticas, un punto crítico o de equilibrio de un sistema dinámico es un

*Los cambios catastróficos son intrínsecos a la naturaleza fluctuante del Universo y, por ende, no son ni inusitados ni atípicos, y obedecen a los mismos mecanismos que provocan los cambios pequeños.*

estado del sistema en el cual el campo vectorial se anula o no hay flujo local si el sistema es continuo, o bien, donde la sucesión de estados se hace constante si el sistema es discreto.

En física, un punto crítico es aquél en el cual un sistema cambia radicalmente

de estructura o conducta; por ejemplo, el punto de transición líquido-sólido. En ambos casos, existen uno o más *parámetros de control* que el experimentador o estudioso puede cambiar o ajustar para alcanzar el equilibrio o el cambio de estructura o comportamiento.

Como contraparte, existen sistemas que alcanzan un estado crítico sin controles externos, únicamente llevados por su dinámica interna o por las interacciones cooperativas de sus componentes. En este caso, se dice que tenemos un *sistema con criticalidad autoorganizada*.

Yo estoy convencido de que este término y los procesos que define serán sujetos de gran atención y estudio en el futuro cercano; de hecho, creo que nos ha tocado presenciar (y posiblemente participar en) una revolución del pensamiento científico, en una nueva forma de concebir el Universo.

Los sistemas que poseen la notable propiedad de la autoorganización tienen una buena cantidad de propiedades no clásicas; por ejemplo, no obedecen el *Principio de Curie*, que dice que un proceso físico no puede ser inhomogéneo o asimétrico en sus efectos si no lo fue en sus causas.

Tendré que pedir perdón a los lectores por mi entusiasmo, pero creo que la ruptura o pérdida de simetría espontánea es un reto a la imaginación: no es nada fácil concebir que algo tome forma o adquiera estructura espacio-temporal sin mano negra, solito, sin que nada ni nadie se lo indique ni le ayude.

Además, la criticalidad autoorganizada parece ser universal: en 1987, Kurt Wiesenfeld, Tang y Bak<sup>2</sup> demostraron que sistemas dinámicos con un número grande<sup>3</sup> de grados de libertad cuyos elementos interactúan entre sí de manera no lineal (los llamados sistemas complejos), normalmente se autororganizan de manera espontánea y llegan por sí solos a un estado crítico, lejos del equilibrio, con una gran correlación interna.

El ejemplo más sencillo de tales sistemas fue propuesto por los mismos autores y se ha convertido en el prototipo de la criticalidad autoorganizada: el modelo de *La pila de arena*.

Imaginemos el siguiente experimento (que es una versión simplificada del que llevó a cabo el equipo de Glenn:<sup>4</sup> Se trata de tirar, de uno en uno, granos de arena sobre una mesa. Así de sencillo.

Al principio, los granos de arena formarán una capa delgada sobre la superficie plana, esta capa se distribuirá de manera más o menos uniforme en círculos cada vez más amplios. Conforme transcurre el proceso se empezará a levantar una pila de arena y la pendiente de la ladera (que será digna de interés en este experimento) comenzará a alzarse y, después de un rato, algunos de los granos de arena que van cayendo provocarán la caída de granos que ya están en la pila. La intuición nos dice que el tamaño y la frecuencia de estas avalanchas serán, en promedio, mayores conforme la pendiente de la ladera se haga más pronunciada. El crecimiento de la pila y de su pendiente se detendrá cuando la acumulación de la arena que se agrega se contrarreste con la que resbala por la ladera de la pila. Esto define un estado crítico que llamaremos, en este caso particular, pendiente crítica.

Cuando la pendiente es menor que la crítica (estado subcrítico), la pila crece hasta llegar al estado crítico; cuando es mayor (estado supercrítico), el número y tamaño de las avalanchas crece y la altura y pendiente de la pila vuelven de nuevo al estado crítico. Este comportamiento es independiente de cualquier parámetro externo, por lo que es un buen ejemplo de criticalidad autoorganizada. En el estado crítico existen avalanchas de todos los tamaños; muchas que involucran pocos granitos y pocas donde resbalan muchos.

Si  $f$  denota el número de granitos que caen en una avalancha y  $n(f)$  el número de avalanchas (la frecuencia observada de  $f$ ) en las que participan exactamente  $f$  granitos, entonces, los puntos de la forma

$$(\log(f), \log(n(f)))$$

se ajustan perfectamente a una línea recta de pendiente cercana a  $-1$ , de manera que, en las variables originales, los puntos

$$(f, n(f))$$

están bien representados por la hipérbola

$$n(f) = 1/f.$$

Por lo tanto, la frecuencia y el tamaño de las avalanchas se relacionan mediante una ley muy precisa; la llamada "ley  $1/f$ ".

Todo esto ha provocado gran revuelo en los medios científicos (más de 2 000 publicaciones acerca de la pila de arena en siete años, por si aún hubiera alguien que midiese la importancia de un tema por la cantidad de *papers* publicados) pues aunque resulta natural pensar que la curva resultante tenga que ser decreciente, el hecho de que entre todas las funciones decrecientes resultara precisamente, y ni más ni menos, una hipérbola, no es ni con mucho algo evidente.

El revuelo es mayúsculo pues se ha descubierto que hay una gran cantidad de fenómenos que dan lugar a diagramas  $1/f$ : notablemente, la distribución del tamaño de los temblores de Tierra —la llamada "Ley de Gutenberg-Richter"— (figura 1) que apoya la idea común de que hay muchos temblores pequeños, una cantidad regular de temblores regulares y muy pocos temblores enormes. Como la recta está en escalas logarítmicas, por cada 1 000

temblores de magnitud 6 en la escala de Richter hay 100 de magnitud 7 y 10 de magnitud 8.<sup>5</sup>

Los temblores catastróficos no se salen de la norma, no tienen ningún papel especial; siguen la misma ley que todos y es la misma dinámica la que les da origen: los acomodos de las placas de la corteza terrestre. No hay que buscarle tres pies al gato; la ley es la misma para todos:<sup>6</sup> grandes, medianos y pequeños.

Hoy tenemos clara evidencia de que fenómenos tan disímboles como las extinciones de las especies, las fluctuaciones de la bolsa de valores y del tráfico ciudadano y muchos más siguen la misma ley  $1/f$ . Todos ellos siguen leyes de escalamiento fractal, como veremos adelante.

Aún más, si en tales fenómenos, o en sus modelos teóricos, hay incertidumbre en la determinación de las condiciones iniciales, ésta se amplifica con el transcurso del tiempo como una potencia de este último, lo que es una característica digna de mención pues la amplificación de las incertidumbres es una señal firme de comportamiento caótico. Sin embargo, en los sistemas con criticalidad autoorganizada, la amplificación de las incertidumbres es potencial y no exponencial, ello indica que el sistema evoluciona en el *borde del caos*, en un régimen que se

Figura 1

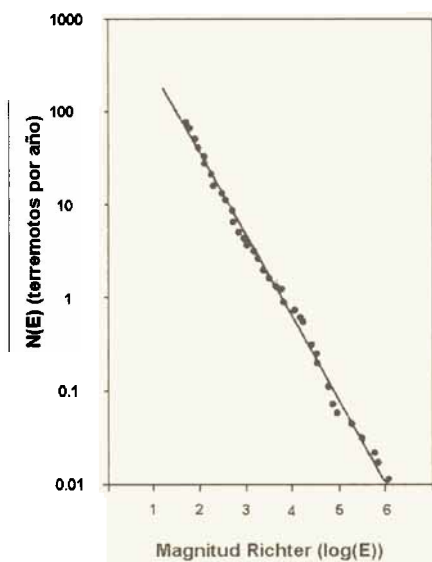
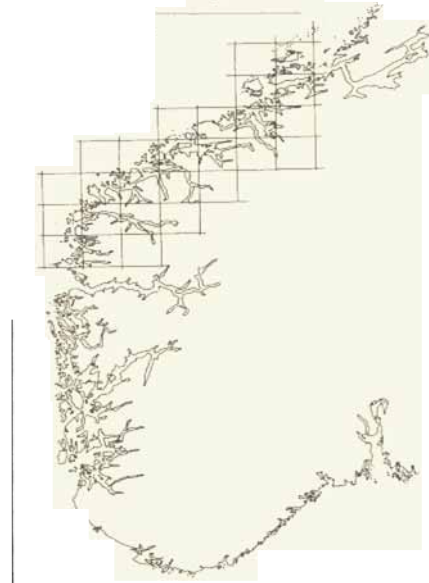


Figura 2



conoce como "caos débil" Caos débil, estado crítico, transición de fase, borde del caos: estos conceptos son, en general, sinónimos, y se sabe<sup>9</sup> que un sistema en este estado maximiza su capacidad de procesamiento de información, su adaptabilidad y su capacidad de aprendizaje<sup>7</sup>

Los sistemas débilmente caóticos tienen un rango de predictibilidad mayor que los sistemas fuertemente caóticos, pero siguen siendo intrínsecamente impredecibles. El sueño de los meteorólogos se esfuma: Edward Lorenz comenta que una de las preguntas que más le formulan es la siguiente: ¿Por qué no podemos hacer mejores predicciones del clima? A lo que él suele replicar: "Bueno, ¿por qué deberíamos ser capaces siquiera de hacer predicciones?" Con los sueños de los meteorólogos se desvanecen también los de todos aquellos con vocación de pitonisos: desde los que quieren predecir el comportamiento de la bolsa de valores hasta los que soñaron con encontrar las leyes que determinan el comportamiento de la sociedad.

Sin negar el indiscutible interés de lo anterior, quizá la consecuencia más sobresaliente del experimento de las pilas de arena es la enseñanza de que la consecuencia de la caída de un grano de arena es completamente impredecible y, más aún, que la misma caída puede no tener efecto alguno o provocar una catástrofe. Es decir: a la misma causa, efectos diferentes; ¡la esencia misma de la no-linealidad!

Estos hechos contradicen las nociones comunes de que los fenómenos de la naturaleza son lineales y echa por tierra la validez de expresiones tan comunes en nuestra cultura como: "mismas causas, mismos efectos", o bien, "a fenómenos complicados, modelos complicados", "a grandes males, grandes remedios" y todos los pensamientos, gratos por simplificadores, en los que se cumplen ciertos principios de superposición y para los cuales el todo es la suma de las partes.<sup>8</sup>

El experimento de la pila de arena, tan sencillo como esclarecedor, muestra que existe una clase de fenómenos que se autorganizan sin influencia externa y que

tenemos que acostumbrarnos a pensar que la naturaleza en que vivimos es intrínsecamente no-lineal, caótica, impredecible y autorganizada. No será sencillo.

## LEYES DE POTENCIAS

*Eadem mutata resurgo*

J. Bernoulli

Existe una clase de funciones en matemáticas, las funciones homogéneas

$$f(x) = cx^a$$

que poseen la siguiente propiedad

$$f(ax) = f(a)f(x).$$

Es decir, un cambio de escala en el eje de las abscisas se traduce en un cambio proporcional en la gráfica de la función y este cambio preserva el aspecto de la misma gráfica.

Esta familia de funciones ocupa un lugar importante en el estudio y descripción de la naturaleza: con  $\alpha = 1$  y  $c < 0$  se tiene la ley de Hooke para la fuerza de restitución de un resorte; con  $\alpha = 2$  y  $c < 0$ , la ley de la gravitación universal de Newton si se elige  $\alpha = 3$ , obtenemos relaciones alométricas entre dimensiones lineales y volumétricas. A estas leyes se les denomina *Leyes de Potencias* y tienen la propiedad, derivada de la invarianza en la forma de la función ante cambios de escala, de ser autosemejantes.

La autosemejanza es una propiedad interesante en la naturaleza que está íntimamente relacionada con la geometría fractal. En los fractales clásicos, como el Triángulo de Sierpinsky (fondo de página), la autosemejanza quiere decir que la figura que observamos es independiente de la escala usada en su dibujo; ésta podría ser de micras o de años luz y el objeto de la figura del fondo se vería igual. También se puede destacar el hecho de que cada parte del objeto es semejante al total: un triangulito de los que forman al triángulo completo es idéntico al original.

Esta conducta puede ser más interesante si se observa en objetos naturales: en la figura 2, una fotografía aérea de la costa de Noruega, observamos fiordos pequeños dentro de fiordos grandes y fiordos aún más pequeños dentro de los pequeños

y así sucesivamente; como las matrioshkas de los artesanos rusos. Lo notable es que es imposible dilucidar cuál es la escala de la fotografía; se dice entonces que la costa de Noruega no tiene una escala propia o intrínseca y que la misma exhibe autosemejanza, o bien, geometría fractal.

En los últimos veinte años,<sup>9</sup> a partir del trabajo pionero de Benoît Mandelbrot (*The Fractal Geometry of Nature*), se da una explosión en el estudio de la geometría fractal y sus manifestaciones en la naturaleza. Hoy se sabe que la estructura de los alveolos pulmonares, los paisajes montañosos, las ramificaciones arteriales, los deltas de los ríos y muchos otros objetos naturales, asaz disímbolos, presentan geometría fractal.

La pila de arena muestra geometría fractal; la distribución de los tamaños de las avalanchas no tiene una escala propia sino que es autosemejante.

## CRETACIC PARK

La idea dominante de la evolución biológica es el esquema darwiniano de cambio gradual y paulatino. Ése es el mejor compromiso que la ciencia victoriana pudo encontrar para maridar el agua y el aceite: el cambio evolutivo y la creencia en las estructuras inmutables de la sociedad y la naturaleza. Ese esquema se ha derrumbado.

Existe evidencia concluyente de que la evolución funciona mediante la alternancia de periodos de calma (*estasis*) y destellos de intensa actividad evolutiva. "Golpes de reorganización en un mundo de sistemas generalmente estables." en palabras de Stephen Jay Gould, descubridor junto con Niles Eldridge del efecto de *equilibrio puntuado* en la evolución.<sup>10</sup>

No quiero desaprovechar la oportunidad para expresar mi admiración por Gould; además de ser uno de los grandes difusores de la ciencia de nuestro tiempo, es uno de los enterradores de los argumentos vitalistas y creacionistas. Individuo de amplio criterio y fe progresista, ha combatido en todos los ámbitos las posturas racistas y sexistas que aún existen en los medios académicos. Como científico,

puedo refutar el supuesto fundamento genético de la maldad y la sinrazón de los nazis. Pero cuando me enfrento a la política nazi, debo hacerlo como cualquier persona, como un ser humano. Me he ga-

que han florecido en este planeta y una responsabilidad para todos los que la puedan ejercer.<sup>11</sup>

Estoy convencido de que el equilibrio punteado no solamente destierra de las

escuela sintética; pero esto es motivo de otra discusión. Sin regocijo de mi parte, pienso que Gould —pese a él— tiene en la evolución darwiniana el mismo papel que Gorbachov en el socialismo soviético: el del sepulturero involuntario.

Aunque se han publicado buenos trabajos que aducen que el equilibrio punteado es un rasgo de los sistemas autorganizados, es en el asunto de las extinciones donde las ideas de la criticalidad autorganizada pueden prestar un buen servicio.

Es habitual que los biólogos traten de explicar las extinciones de las especies mediante argumentos *ad hoc*; cuando son una o pocas las especies que desaparecen, se esgrimen argumentos ambientales o de dinámica poblacional. En cambio, para las extinciones masivas, se invocan causas exógenas o agentes externos. El mejor ejemplo es la conjetura de la caída de un meteorito como motivo de la extinción del Cretácico, hace unos 65 millones de años, y que provocó la desaparición de estirpes y linajes completos, incluyendo a los dinosaurios. La extinción del Cretácico no es, ni con mucho, la más grande que ha sufrido la vida en la Tierra; sin embargo, es la más publicitada, pues los dinosaurios están de moda y rodeados de glamour después de *Jurassic Park*. Además, se ha explotado mucho la vía sentimental como, novelescamente, lo hace Stephen Jay Gould: “De no haber habido un impacto que terminase su vigorosa diversidad, quizá [los dinosaurios] sobrevivirían hasta hoy día. Si no hubieran desaparecido, lo más seguro es que los mamíferos se hubieran quedado pequeños e insignificantes (como lo fueron durante los 100 millones de años de dominación dinosauriana). Si los mamíferos hubieran permanecido pequeños, limitados y desposeídos de conciencia, entonces no hubieran surgido los humanos para proclamar su indiferencia [ante la extinción]. O para llamar “Pedro” a sus hijos (*sic*)”.

No deja de ser simpático que siendo Gould el más reconocido defensor del carácter histórico (y por tanto, contingente, azaroso e irreplicable) de la biología, afirme de manera rotunda y determinísti-

## ECUACIONES DIFERENCIALES Y PROCESOS NO LINEALES

Si  $a$  y  $b$  son números reales y  $a$  es diferente de cero, entonces la ecuación  $ax + b = 0$  tiene una única solución ( $x = -b/a$ ), la cual es un número real.

Aun el caso más complicado, pero todavía lineal, de un sistema de  $n$  ecuaciones algebraicas, normalmente tiene una solución única y es un vector de números reales.

La ecuación algebraica más simple que ya no es lineal, es la cuadrática  $ax^2 + bx + c = 0$  con  $a$ ,  $b$  y  $c$  reales y  $a$  distinto de cero. Esta ecuación tiene dos raíces que pueden ser números complejos. La transición de lo lineal a lo no lineal introduce la posibilidad de soluciones múltiples y un tipo completamente nuevo: las soluciones complejas. Con ecuaciones algebraicas más complicadas —de mayor grado— ya no ocurre nada nuevo; las diferencias esenciales entre lo lineal y lo no-lineal aparecen en seguida.

Una de las mejores herramientas con las que cuenta la matemática para modelar procesos dinámicos son las *ecuaciones diferenciales* (también tenemos *mapeos discretos*, *autómatas celulares*, *redes de mapeos acoplados*, *sistemas de gases en red* y *redes de neuronas*).

Un sistema autónomo de ecuaciones diferenciales ordinarias se escribe como

$$\frac{dF}{dT} = F(X, \lambda)$$

donde  $F$  es una función, en general no-lineal, de  $R^n \rightarrow R^n$  y  $\lambda$  es un vector de parámetros. Este tipo de ecuaciones es capaz de exhibir una gran riqueza de comportamientos dinámicos: bifurcaciones, oscilaciones no-lineales, resonancias, transición al caos, etcétera.

Sin embargo, los sistemas no-lineales son muy difíciles de analizar y no siempre se puede encontrar una solución explícita; por esta razón, a menudo, en lugar de trabajar con el sistema original, se desarrolla el lado derecho del sistema en serie de Taylor alrededor de los puntos de equilibrio y se obtiene el sistema lineal

$$\frac{dF}{dT} = A(X, \lambda)$$

en donde  $A$  es la matriz que contiene la parte lineal del desarrollo de Taylor de la función  $T$  por cada punto de equilibrio. Los sistemas lineales así obtenidos son fáciles de estudiar y su comportamiento se conoce completamente. Esta técnica se llama, por razones obvias, linealización y simplifica mucho la tarea del investigador.

Sin embargo, durante la linealización se pierden todos los efectos no-lineales del sistema original y el espectro de los comportamientos se reduce a oscilaciones periódicas, oscilaciones amortiguadas, equilibrios estables y un puñado de conductas patológicas que no son genéricas.

nado el derecho a involucrarme en aspectos morales porque pertenezco a los *Homo sapiens* y es ése un derecho que abriga a cada uno de los seres humanos

discusiones sobre la evolución las ideas gradualistas, creo tener argumentos que indican que el efecto va aún más allá y que golpea duramente los cimientos de la

ca que la desaparición de los dinosaurios definió la emergencia de los humanos (y la de Pedro).

No pongo en duda que muchas de las extinciones individuales se deban a efectos

porque la hipótesis va contra la idea del cambio gradual y paulatino y, segunda, porque los Álvarez son físicos y a los biólogos les molesta enormemente que los físicos se metan en sus asuntos.<sup>13</sup>

mecanismos físicos de la extinción (¿de qué se murieron?, ¿de hambre?, ¿de frío, de calor?, ¿del susto?) y mientras no se dé una argumentación satisfactoria de los tiempos efectivos de la extinción: aún no



accidentales o exógenos,<sup>12</sup> pero no me gusta la actitud generalizada de buscar, y encontrar, explicaciones distintas para diferentes realizaciones de un mismo fenómeno.

En 1967, Luis y Walter Álvarez encontraron indicios de la caída de un gran meteorito en los estratos superiores del Cretácico y emitieron la hipótesis de que este evento habría sido la causa de la extinción de los dinosaurios (se extinguieron muchos otros grupos, pero así se le llama familiarmente a este evento). La comunidad biológica reaccionó de manera violenta en contra por dos razones: primera,

En 1992 se encontró frente a la costa de Yucatán el cráter de un meteorito con las características predichas por los Álvarez y la actitud de la comunidad biológica ha empezado a cambiar. Sin embargo, me cuento entre los que no se convencen; no porque sea abogado del gradualismo, sino porque la hipótesis me parece insatisfactoria mientras no se expliquen los mecanismos concretos mediante los que ese meteorito putativamente provocó una extinción muy, demasiado, selectiva de algunas familias y géneros y no de otros, mientras no se conozcan los

se sabe cuanto tiempo abarcó la desaparición e incluso existe evidencia que indica que muchos de los grupos extintos, que se cargan en la cuenta del impacto, ya se habían esfumado de la faz de la Tierra cuando cayó el meteorito.

Quizá todo esto sean detalles y con el tiempo, con ingenio y aplicación, se les pueda forzar a cuadrar dentro de un marco narrativo más o menos coherente. Pero son precisamente el rebuscamiento y la propensión a elaborar narraciones históricas lo que no me gusta; prefiero y pretendo convencerles de que es preferible elaborar teorías

verificables aunque éstas posteriormente no pasen por el tamiz de la comprobación: ya vendrán otras y mejores.

En este sentido soy un defensor de la idea de que los grupos de comunidades de especies forman un sistema interconectado entre sí de manera no-lineal y que los eventos de extinción, independientemente de su magnitud, son parte de una misma dinámica en régimen de criticalidad autororganizada. La caída de un grano de arena puede provocar una gran avalancha o puede no provocar nada: la extinción de una especie puede provocar una avalancha de extinciones o puede no provocar nada.<sup>14</sup>

Existe trabajo serio en este sentido; aunque las ideas de la criticalidad autororganizada son jóvenes, ya se tienen modelos muy atractivos que reproducen maravillosamente bien los datos paleontológicos e históricos de las magnitudes y tiempos de extinciones a lo largo de la existencia de la vida en la Tierra. Las publicaciones de Bak y Solé, con sus respectivos colaboradores, que vienen listadas al final, son muy recomendables.<sup>15, 16</sup>

## EL ASALTO AL PALACIO DE INVIERNO

Quizás a estas alturas, los lectores hayan sacado ya sus propias conclusiones y estén pensando en otro aspecto polémico de este mundo: las revoluciones sociales. En la primera parte señalé que las convulsiones sociales se estiman como “inconvenientes” pues se les juzga desde el punto de vista de la moral y, como todos sabemos, la moral y la ética no son únicas. José Luis Gutiérrez lo dice así: “La visión inmovilista, que descansa sobre el principio del mantenimiento del *statu quo* implica una ética autoritaria establecida, de una vez y para siempre, por los grupos dominantes.

”La concepción dinámica, por el contrario, implica ne-

cesariamente una ética revolucionaria.”

Me parece inútil argumentar (pero hay que decirlo) que el horror a las revoluciones también proviene del deseo, oculto o confesado, de que nuestro entorno sea apacible y ordenado. A los revolucionarios se los retrata como resentidos llenos de odio (porque su papás eran borrachos y su madres no los querían), como locos o, cuando les va bien, románticos de novela.

Independientemente de que yo pertenezca a la especie extinta de los que admiran a los revolucionarios de la Comuna de París, quiero invitar a los lectores a reconocer que si las sociedades humanas son conjuntos de individuos que interactúan entre sí de manera no-lineal, entonces no es sorprendente la incidencia natural de las revoluciones, pese al horror que provoquen en las buenas conciencias.

Las ideas de la criticalidad autororganizada están penetrando los ámbitos de las ciencias sociales; gana terreno la hipótesis de que las extinciones de civilizaciones complejas —maya, teotihuacana, azteca, etcétera— son consecuencia natural de la dinámica de sistemas con criticalidad autoorganizada.<sup>17</sup>

Asimismo, existen grupos de trabajo (consúltese la literatura sugerida) que están formulando teorías macroeconómicas que descansan sobre el mismo formalismo.



No quiero terminar esta sección sin alertar a los lectores contra el uso fácil y acrítico de las ideas de la criticalidad autororganizada. Desafortunadamente, es muy fácil construir un discurso deslumbrante pero vacío usando su terminología y hay quienes lo hacen; grupos *new age*, *neohippies* y, desgraciadamente, académicos de centros de investigación.

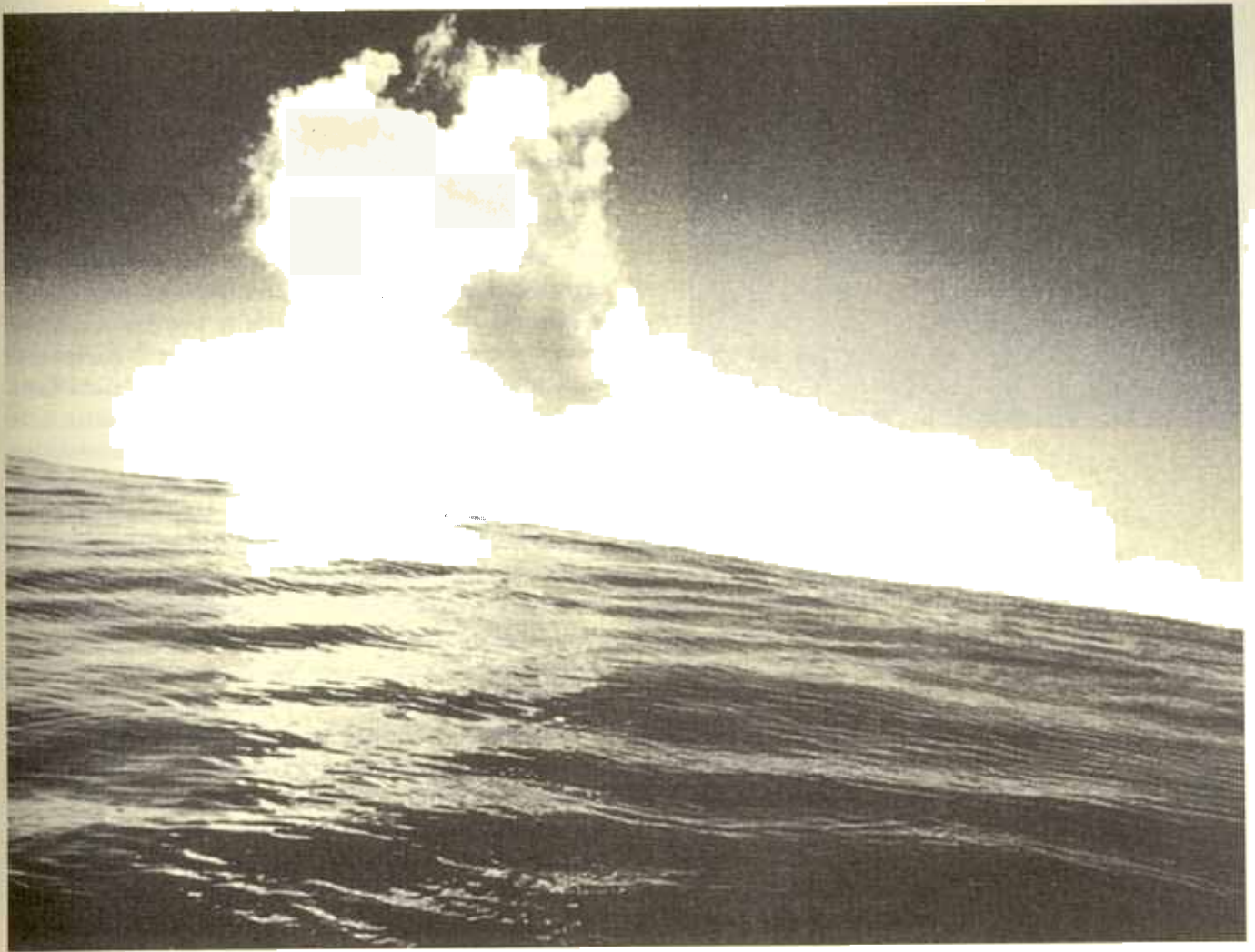
## DEL MALIGNO...

No es fácil aceptar la organización espontánea de la materia, la emergencia de patrones y formas sin causa aparente, la pérdida de la simetría; tampoco lo es conceder que las fluctuaciones de los fenómenos naturales, las pequeñas y las grandes, sigan las mismas leyes, no es fácil. Los medios científicos, integrados por gente entrenada para indagar y para razonar, son paradójicamente reacios al cambio y extremadamente conservadores.

Lo nuevo, lo desconocido, provoca miedo e inseguridad. Max Planck,<sup>18</sup> con su característica claridad, nos advierte: “Una innovación científica trascendente no se gana su lugar gradualmente, mediante la persuasión y el convencimiento de sus oponentes. Rara vez sucede que Saulo se torne en Pablo.<sup>19</sup> Lo que sucede es que sus oponentes mueren gradualmente y que las siguientes generaciones se familiarizan con las nuevas ideas desde el principio.”

Luzbel, el ángel caído, atenta contra el orden y el equilibrio del mundo; su ciego orgullo lo lleva a tratar de usurpar el lugar del único, del verdadero Dios. A todos aquellos, científicos o no, renuentes al cambio, bien les vendría incluir la siguiente en sus oraciones nocturnas:

*Del Maligno, defiéndeme.  
En la hora de la muerte, llámame.  
Y mándame ir a Ti,  
Para que con tus santos te alabe,  
Por los siglos de los siglos.  
Amén.*



#### PEDRO MIRAMONTES VIDAL

Miembro del Grupo de Biomatemáticas, Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

#### Agradecimientos

José Luis Gutiérrez, Octavio Miramontes y Germinat Cacho contribuyeron con sus comentarios, correcciones y discusiones a la realización de este escrito. La primera parte del recuadro es cortesía de Peter Saunders.

#### Notas y referencias

1. <http://www.santafe.edu/~gmk/MFGB/MFGB.html>.
2. P. Bak, Ch. Tang y K. Wiesenfeld. 1988. "Self-organized criticality". *Physical Review A*, 38:364-374; y P. Bak. 1997. "How Nature Works". Springer-Verlag.
3. "Grande" quiere decir, en nuestro contexto, demasiados grados de libertad para intentar resolver las ecuaciones dinámicas, pero muy pocos para que sea aplicable el formalismo de la mecánica estadística.
4. H. Glenn *et al.* "Experimental study of critical-mass fluctuations in an evolving sandpile". 1990. *Physical Review Letters* 65:1120-1123.
5. P. Bak y Ch. Tang. 1991. "Self-organized criticality".

*Scientific American* (núm. de enero):28-33.

6. *La legge è uguale per tutti*, reza la constitución italiana; pero el pueblo, como si pensara en lo nuestro, dice: *Dai mali costumi nascono le buone leggi*.
7. R. Lewin. 1992. *Complexity: Life at the Edge of Chaos*, McMillan.
8. Aristóteles en su *Metafísica* (1045a,10f) enuncia que "El todo es más que la suma de las partes" vaticinando la preocupación moderna por el estudio de las *propiedades emergentes*. Por su parte, Tito Lucrecio Caro escribe *De rerum natura*, magna obra científica en verso, y desde ahí opina que *summarum summa aeternum*, "la suma de las sumas es la eternidad" vaticinando la infinitud del continuo.
9. Curiosamente, las propiedades matemáticas de los objetos fractales ya estaban completa y formalmente descritas desde principios de siglo, gracias a la obra de Hausdorff, Basicovich, Julia, Fatou y otros investigadores.
10. S.J. Gould y N. Eldridge. 1977. "Punctuated equilibrium; the tempo and mode of evolution reconsidered". *Paleobiology* 3:114.
11. S.J. Gould. 1995. *Dinosaur in a Haystack*. Crown Trade Paperbacks, Nueva York.
12. La colonización europea en África tuvo como efecto

inmediato la extinción de varias especies animales y no me atrevería a incluirla en una dinámica autorganizada.

13. Para desgracia del chauvinismo biológico, la mayoría de los biólogos teóricos son físicos.
14. Los militaristas norteamericanos justificaban lo injustificable: la agresión genocida en Vietnam mediante la teoría del dominó: una vez que un país cayese en manos del comunismo, éste se propagaría como avalancha a los países vecinos. Esta nota ilustra los riesgos del empleo de la falsa analogía.
15. P. Bak, H. Flyvbjerg y K. Sneppen. 1994. "Can we model Darwin?" *New Scientist* 12:36.
16. R. Solé, J. Bascompte y S. Manrubia. 1995. "Bad genes or weak chaos". *Proceedings of the Royal Society of London* 263:1407.
17. R. Lewin, *op. cit.*
18. Citado por G. Holton en *Thematic Origins of Scientific Thought*. 1973. Harvard University Press.
19. Dice la Biblia en los *Hechos de los Apóstoles* que Saulo era un perseguidor de los cristianos y que en una incursión armada, dirigida por él para combatir a los cristianos de Damasco, un rayo del Señor lo derribó de su caballo y el Señor le reveló que Jesús había sido el verdadero mesías. Saulo se convirtió al cristianismo y cambió su nombre por el de Pablo.