

La Psicohistoria y el Caos

por Jorge Balej
de Ciencia & Ficción

"El caos con frecuencia crea vida, mientras que el orden crea habito"
Henry Brooks Adams - "Education of Henry Adams"

Generalmente se piensa que caos tiene que ver con desorden, esto no es correcto, de hecho es casi lo opuesto. Caos se relaciona, mas exactamente, con impredecibilidad.

Quizás usted recuerde, de su paso por la escuela secundaria, las famosas ecuaciones de movimiento rectilíneo que nos producían dolores de cabeza en las clases de física. En términos simples estas dicen que si conocemos la velocidad y posición, digamos, de un auto en un determinado momento, podremos predecir donde estará el auto en cualquier instante futuro y, lo que es mas, de donde vino y donde estuvo en cualquier instante del pasado (suponiendo, por supuesto que el auto mantuviera su velocidad constante). Esto es lo que se llama un sistema determinista. Hasta hace poco tiempo, los físicos pensaban que todos los sistemas eran así. Creían que conociendo las condiciones iniciales del movimiento (velocidad, posición) siempre sería posible encontrar ecuaciones que describieran todo el futuro y el pasado del sistema (¿escuchó hablar del "diablillo de Laplace"?), Pierre Simón Laplace fue un matemático francés del siglo pasado quien afirmaba que si existiera un "diablillo" que pudiera conocer en un instante determinado la posición y velocidad de todas las partículas del universo, conocería todo el futuro y todo el pasado, esta es mas o menos la idea que imperaba en ese entonces y que dominó la física durante mucho tiempo). Claro, era conocida la existencia de algunos sistemas "raros", pero no había duda de que estos perderían su "rareza" en el futuro.

¿A que me refiero con sistema "raro"? Veamos, imagine una mesa de billar que tenga en el centro un cilindro adherido al paño (fig. 1). Cualquiera que haya jugado al billar (no es mi caso, soy un desastre) sabe que pegando a la bola con determinada fuerza y en determinada dirección puede predecir donde va a ir a parar después de, quizás, varios rebotes (si es un experto, con bastante precisión). Sin embargo, en este caso, el cilindro del centro produce una interesante diferencia. Todos conocemos, al menos intuitivamente las leyes de un rebote (fig. 2), es mas, cualquiera con papel, lápiz, una escuadra y un transportador, podría dibujar la trayectoria de la bola si supiera la dirección en que fue golpeada, basta con darse cuenta de que, rebote donde rebote, el ángulo de salida será igual al de entrada.

Digamos que usted, profundamente interesado en este experimento, dispone de todos esos elementos y de una mesa de billar como la descrita, además de la posibilidad de observarla desde arriba (por ejemplo con una cámara de televisión, como en los campeonatos) para comparar con su dibujo en papel (agreguemos también un buen jugador, si es por pedir...). Todo esta listo, usted especifica al campeón de billar en que dirección debe golpear la bola, hace su dibujo en papel con todo cuidado y observa ansioso la pantalla... para llevarse una sorpresa: después de pocos rebotes la trayectoria de la bola tiene poco que ver con su dibujo. Rehace sus cálculos y repite el experimento... y obtiene el mismo resultado. Quizás piense en cambiar al inepto campeón por otro menos inepto... mejor no lo haga, va a pelearse con muchos billaristas y eso no cambiará nada. Este sencillo sistema físico es impredecible. ¿Por que?. Bueno, la bola, aunque parezca una esfera perfecta, no lo es,

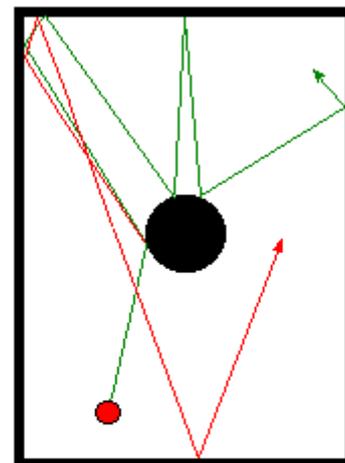


Figura 1: Mesa de billar con cilindro.

— Trayectoria real
— Trayectoria calculada

tiene pequeñas imperfecciones, también el cilindro, aun cuando haya sido pulido con extremo cuidado y ni hablar de la mesa, el paño no es perfecto y puede tener diferencias de textura completamente imperceptibles al tacto. Estas imperfecciones producen pequeños errores en los rebotes, y estos errores se van acumulando. Esta clase de cosas existe en cualquier juego de billar, lo que ocurre en este caso es que el cilindro actúa como amplificador.

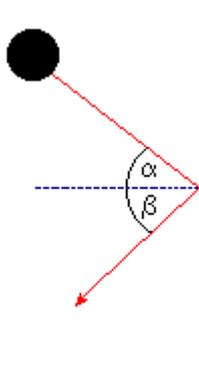


Figura 2: Ley del rebote. $\alpha = \beta$

Perfecto, dice usted, ¿cual es el problema?, con modernas computadoras y sistemas láser y todo eso, seguramente podremos, si no ahora, en el futuro, conocer todas las imperfecciones de una dada bola así como las de la mesa y por lo tanto predecir la trayectoria fácilmente. Es decir que parece ser cuestión de información. Basta con saber mas para solucionar el problema (el "diablillo" se debe estar muriendo de risa). Por desgracia la cosa no es así.

En este punto me voy a tener que poner técnico, pero no hay mas remedio, porque tendré que hablar de: **atractores extraños**.

"Los atractores extraños son los monstruos que nos acechan detrás de la puerta del desván de la naturaleza", buena frase, ¿no?, es mía, se me ocurrió en el colectivo...

¿Que es un atractor?. Alguna vez debe haber visto un péndulo, si no, ate un objeto cualquiera con un hilo y hágalo oscilar, eso es un péndulo. Digamos que en tren de seguir experimentando se fabrica un péndulo de ese modo (no lo intente con el perro y su correa, sería cruel y además los estertores del animal arruinarían el experimento). ¿Ya lo tiene?, hágalo oscilar y espere. Al cabo de un tiempo, notará que las oscilaciones se hacen cada vez mas pequeñas hasta que, por fin, el péndulo se detiene en posición vertical (el llamado punto de equilibrio). No importa que fuerza inicial le dé, ni desde donde lo suelte, a la larga o a la corta terminara en el mismo lugar debido a la fricción con el aire. Ese punto es lo que se llama un atractor. Un atractor es una zona geométrica donde va a parar un sistema dinámico cualquiera pasado un cierto tiempo partiendo de condiciones iniciales cualesquiera.

Al estudiar sistemas dinámicos se pudo comprobar que existían otros tipos de atractores además de los puntos: circunferencias, rectas, elipses, toroides (un toroide es como un salvavidas)... vale una aclaración, usted puede estar preguntándose que tipo de movimiento termina en un salvavidas (suena a chiste, ¿no?), lo que pasa es que los atractores y su forma se estudian, no en el espacio tridimensional en que vivimos, sino en algo llamado **espacio de fases**, no tema, no me voy a meter en esto, si a esta altura permanece vivo podrá soportar lo que falta.

Todos estos atractores, bellamente geométricos, corresponden a sistemas perfectamente deterministas y predecibles. Repito, antes se pensaba que todos los sistemas eran así.

En la década del '60 un tipo llamado **Lorenz**, meteorólogo para mas datos, estaba muy preocupado con el problema de la predicción del clima (como todo buen meteorólogo debe estar). Como la atmósfera es una cosa muy complicada, este buen señor decidió estudiar algo más simple. Pensó que una aproximación (bastante pobre pero sencilla) de la atmósfera podría ser una capa de gas entre dos placas con distintas temperaturas y se puso a trabajar en las ecuaciones que debían gobernar las variables (temperatura, presión, velocidad, etc.) del gas. Obtuvo un conjunto de ecuaciones sumamente elegante (la elegancia es una característica que los físicos buscan en todas sus ecuaciones, no olvidar que la física, en el fondo, es una búsqueda estética). Claro, las ecuaciones eran bastante complicadas, no era cuestión de ponerse a despejar con lápiz y papel para resolver el problema, así que puso manos a la obra y programó a su linda computadora para hacerlo.

Para hallar la solución de ecuaciones de movimiento ya vimos que es necesario conocer las condiciones iniciales (en este caso, por ejemplo, la presión y la temperatura en un determinado instante) así que para unas dadas condiciones iniciales Lorenz halló una solución de las ecuaciones (esto no es gran cosa, cualquiera puede hacerlo). Ahora bien, para verificar su trabajo, puso a funcionar su programa otra vez con las mismas condiciones, y halló nuevamente una solución, pero esta solución... era muy distinta de la anterior.

Aclaremos esto, si en una ecuación pongo las mismas condiciones iniciales y efectuó el calculo del mismo modo ¡la solución debe ser la misma!, no puede ser de otra manera. Lorenz quedo consternado y patitieso. Puso a su equipo a trabajar para verificar su programa y su computadora, pero no encontraron ningún error. ¡Recorcholís!, ¡caspita!. ¿Que había pasado?.

Hablemos un poco de computadoras. Una computadora tiene un cierto grado de precisión. Esta precisión nunca es infinita. Lo que quiero decir es que, por ejemplo, puedo escribir un numero con 10 o 12 cifras decimales (o la cantidad de cifras que sea), pero no mas, dependiendo de la computadora. Este grado de precisión es mas que suficiente para casi todas las cosas en las que se emplea la maquina, pero no lo fue en el caso de Lorenz y sus ecuaciones. Uno de los miembros del equipo, descubrió que cuando se ingresaban las condiciones iniciales la ultima cifra decimal podía variar. Digamos que, en el primer intento se ingresó una temperatura de 23.923223315 °C y en el segundo 23.923223314 °C (note que solo la ultima cifra es diferente). Esta pequeñísima diferencia (digamos de una parte en mil millones) fue suficiente para que las soluciones fueran completamente distintas. Pongamos esto en perspectiva. Supongamos que usted arroja una pelota contra la pared y esta deja una pequeña mancha (no haga la prueba en su casa, es desagradable dejar manchas en las paredes, además usted es grande y es infantil jugar con pelotitas, bueno, el billar es una excepción...), si en el siguiente intento varia ligeramente el ángulo o la velocidad del lanzamiento, verá que la nueva mancha dejada por la pelota aparecerá bastante cerca de la primera. En términos mas técnicos, a condiciones iniciales similares los resultados también lo son. En el caso de las ecuaciones de Lorenz esto no pasaba, cualquier variación, por mas pequeña que fuera, de las condiciones iniciales producía una solución completamente diferente. Esto es lo que comúnmente se llama **efecto mariposa**, se lo describe generalmente así: "una mariposa bate sus alas en Nueva York y como consecuencia se produce un tornado en Japón". Lo que significa es que un pequeño cambio (o perturbación) puede crecer exponencialmente hasta alterar completamente las condiciones existentes hasta ese momento.

Luego de reflexionar, Lorenz se percató de que tenia algo importante entre manos y decidió determinar la forma del atractor de su sistema. La cosa que apareció ante sus ojos no se puede describir con palabras. Era simultáneamente bello y monstruoso, un extraño nudo con hilos infinitamente largos e infinitamente cercanos unos a otros. Dos bucles que se entrecruzaban en complicadas formas... y acabo de decir que no se puede describir con palabras, bueno, esta bien, si se puede, pero es mejor verlo. Era lo que en matemáticas se llama: un **fractal** (Fig. 3).

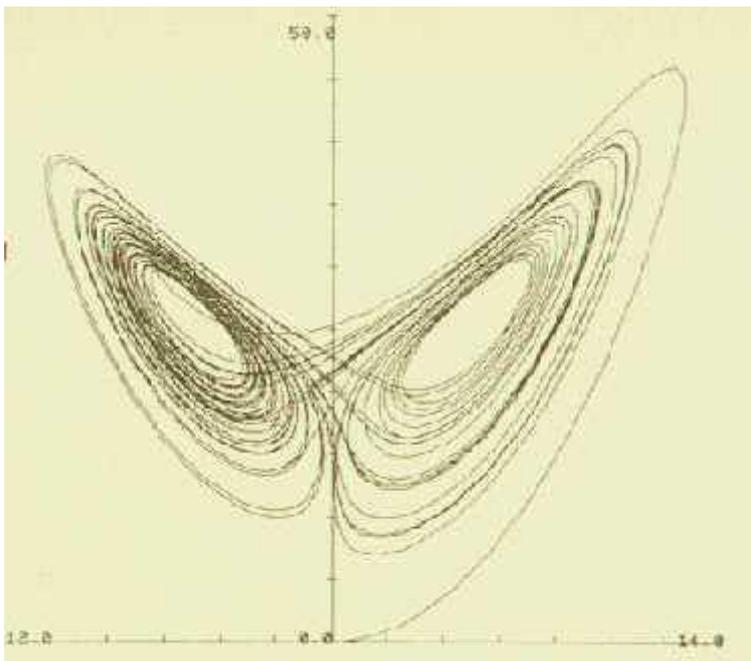


Fig. 3: Atractor de Lorenz (tenga en cuenta que el objeto es, en realidad, tridimensional).

¿Que cosa es un fractal? (¿ha notado que cada pregunta nos lleva a otra pregunta?, ¿no es divertido?). Digamos que un fractal es un objeto matemático infinitamente complejo que puede ser generado por ecuaciones curiosamente simples. Los fractales fueron muy estudiados por un matemático francés llamado **Benoit Mandelbrot** (quien, por supuesto, le puso su nombre a un fractal muy bonito, Fig. 4). La mayoría posee la característica de **autosimilaridad**, esto es, si usted corta un pedacito del objeto y lo observa verá que es idéntico en estructura al todo, si no conforme con esto corta del pedacito otro

pedacito mas pequeño y lo mira con un microscopio seguirá viendo lo mismo. Además los fractales tienen **dimensión fraccionaria**. ¡Ups!, otra pregunta, ¿qué es dimensión?, bueno, digamos que se podría pensar a la dimensión de un dado espacio como la cantidad de números que necesito para fijar la posición de un punto dentro de él. Por ejemplo, para situar un punto en una línea me basta con dar la distancia del punto a un extremo cualquiera de dicha línea, entonces decimos que la línea tiene dimensión uno; para situar un punto en un plano necesito la distancia del punto a dos de los bordes (no paralelos), por lo tanto tiene dimensión dos, etc. Uno podría llegar a creer que siempre debe ser mas o menos así, que la dimensión tiene que ser un numero natural, pero no, un fractal puede tener dimensión 1.28, como el de Lorenz, es decir que ese objeto parece ser algo intermedio entre una línea y un plano (si se esta preguntando que significa tener que dar 1.28 números para fijar la posición sobre el fractal, mejor no lo pregunte... es mas saludable).

En resumen, Lorenz descubrió que un sistema determinado por ecuaciones resolubles y por lo tanto aparentemente determinista podía tener un atractor fractal y ser impredecible por su dependencia extrema de las condiciones iniciales. Desde ese momento los fractales de sistemas físicos pasaron a llamarse "atractores extraños".

Entonces podremos llamar **caótico** a un sistema que tenga tres características: ser impredecible, tener fuerte dependencia de las condiciones iniciales y poseer un atractor extraño (en realidad basta con que se cumpla esta última). Es decir, un sistema caótico es impredecible no importando cuanta información tengamos sobre él (si el "diablillo" realmente conociera la posición y velocidad de todas las partículas del universo en un instante, en realidad no sabría nada ni podría predecir nada)

Mucha agua ha corrido bajo el puente desde Lorenz, se ha descubierto un gran número de sistemas que cumplen con estas condiciones, tantos, que los físicos están convencidos de que la mayor parte de los sistemas naturales son caóticos, los deterministas, tan estudiados antes, serian la excepción. Hasta las orbitas planetarias, paradigmas del orden (como un reloj, al decir de Newton) han caido bajo sospecha. Se piensa que la orbita de Pluton podria ser caotica. Para el estudio de estos sistemas se han desarrollado técnicas matemáticas completamente nuevas.

¿Por que estudiar sistemas así?. Al principio aclaré que caos no tiene nada que ver con desorden. Por ejemplo, si usted encierra un gas cualquiera en un recipiente las moléculas del gas están seguramente en completo desorden, moviéndose a distintas velocidades y direcciones, se dice que están en **equilibrio termodinámico**. Si un sistema esta en equilibrio termodinámico

permanecerá así para siempre a menos que se lo altere externamente, quiero decir que un sistema en equilibrio es completamente desordenado y esta completamente muerto. Un sistema caótico no es así. Se dice que esta alejado del equilibrio o en **equilibrio disipativo** (nombre acuñado por el gran **Illia Prigogine**, probablemente el más grande experto en este tema, ponerse de pie por favor), puede parecer en desorden pero no lo está. Grandes, complejas y extremadamente ordenadas estructuras se forman en el seno de un sistema de este tipo.

¿Oyó hablar alguna vez de **entropía**?. La entropía es, en termodinámica, algo así como una medida del desorden que impera en un dado sistema. Una de las inamovibles leyes de la termodinámica afirma que todos los sistemas (incluso el universo mismo) tienden a aumentar su entropía (cualquiera que viva en departamento lo sabe, en el mío la entropía tiende a infinito...) de manera que la pregunta que se planteaba era: ¿cómo podía existir la vida?. Un sistema vivo es algo altamente ordenado y fuertemente alejado del equilibrio. Termodinámicamente hablando los seres vivos estamos siempre al borde del colapso, caminando por el filo de una navaja, cualquier alteración energética puede producir una

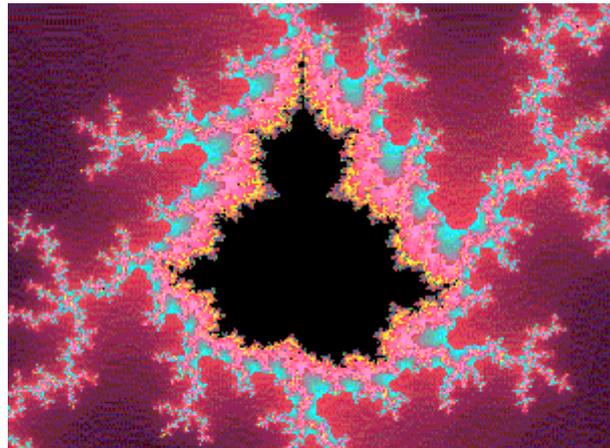


Fig. 4: Conjunto de Mandelbrot. Posee la propiedad de autosimilaridad.

catástrofe. Sin embargo la vida existe. La explicación de esta paradoja parece ser el caos. En el sistema caótico imperan niveles de orden altamente complejos (por dar un ejemplo sencillo, los cristales de nieve son estructuras provenientes del caos), que producen los desequilibrios necesarios para que las improbables (en el exterior) reacciones químicas indispensables para la vida sean posibles. Sin duda (seguro esta de acuerdo conmigo) las relaciones humanas son caóticas, ya que los seres humanos somos impredecibles. La física y matemática del caos se han estado aplicando en economía (con la esperanza de predecir fluctuaciones en la bolsa, por ejemplo), en meteorología (no hacen falta las aclaraciones sobre este punto), en neurología (en determinadas patologías las señales emitidas por las neuronas parecen tener un contenido caótico) y en muchas otras ramas de las ciencias.

Sin embargo esta nota se llama "Psicohistoria y Caos" así que vamos a ocuparnos un poco de la psicohistoria. A quienes hayan leído algo de Asimov esta palabra no les debe resultar desconocida. La psicohistoria es una ciencia concebida por este escritor para su famosa serie de novelas sobre la **Fundación**. Podríamos definirla como una ciencia que permite predecir el futuro de una civilización por medio del tratamiento estadístico del comportamiento de grandes masas humanas. ¿Será esto posible?. Para analizarlo empecemos hablando de **grados de libertad** (*g. l.*). En términos simples los *g. l.* son las direcciones "independientes" en que puede moverse una partícula o sistema. El significado de dirección y movimiento es, en este caso, muy general, ya ampliaré esto luego. Veamos algunos ejemplos: una partícula libre y sin dimensiones (un punto matemático) tiene tres *g. l.* que corresponden a las tres dimensiones del espacio (esto no significa que la partícula no pueda moverse en cualquier otra dirección, solo que cualquier dirección se puede expresar como composición de las tres principales). Por otro lado, dos partículas libres (que no interactúan) tienen seis *g. l.* (tres para cada partícula). Un objeto sólido y tridimensional podría tener también seis *g. l.* dados por las tres direcciones en las que se puede mover su centro de masa y los tres ángulos en los que se puede descomponer cualquier movimiento de rotación. Podríamos pensar que cuanto mayor es el número de *g. l.* más complejo es el sistema pero esto no es necesariamente así. Un gas ideal (es decir un conjunto de partículas puntuales sin interacción entre ellas) tiene virtualmente infinitos *g. l.* (o al menos un número enorme, el triple del número total de partículas) pero no es impredecible en lo absoluto. Este problema fue resuelto con la teoría cinética de los gases (Maxwell y Boltzman...). Mediante el tratamiento estadístico fue posible reducir el número de *g. l.* del conjunto de partículas a tres: temperatura, presión y volumen (notar que estas variables no son espaciales ni representan, aparentemente, movimientos, a eso me refería cuando mencione que los *g. l.* son un concepto muy general). Claro, el truco fue que pasamos de considerar el comportamiento de cada partícula individual a analizar el comportamiento promedio de todo el conjunto. De todos modos existen sistemas en donde la disminución de *g. l.* no es solo un truco estadístico. Estos son los sistemas estudiados por la **sinérgica**. En esta clase de sistemas las partículas parecen "comunicarse" entre sí a distancia de manera que el comportamiento de una de ellas se ve influido por el de las otras, de aquí al orden complejo producido por el caos solo hay un paso.

¿Y los seres humanos?. Una persona libre y aislada tiene infinitos *g. l.* (en este caso no hablamos de dimensiones espaciales sino de sus distintas reacciones frente a cada circunstancia). La misma persona inserta en una sociedad ve restringidos sus *g. l.* ya que no todos los comportamientos son socialmente aceptables. Dos personas con algún vínculo entre sí también restringen sus *g. l.*, por ejemplo, en un matrimonio el comportamiento individual está orientado a lo que sea mejor para la pareja (bueno, en un matrimonio "ideal", digamos). ¿Que pasa con una masa grande de gente?. Un refrán popular dice: "la inteligencia de una masa de personas es menor que la del más estúpido de sus miembros".

Probablemente esta frase tiene mucho de verdad, creo que los políticos también lo piensan. ¿Ha notado que es muy raro que un político en campaña acepte hablar individualmente con sus posibles votantes?, por lo general solo lo hacen ante multitudes mas o menos grandes. Sociólogos, psicólogos y *asesores de imagen* (profesión muy de moda) conocen la forma de conmover a una masa y estos últimos saben que en los discursos que preparan para sus jefes, en general, más importante que el contenido del mensaje es la entonación y alguna que otra frase que excite a la multitud. Palabras o frases como *hermanos, patria, nación, patriotismo, destino manifiesto*, pulsán ciertas cuerdas psicológicas en el auditorio. Introdúzcalas en cualquier discurso, en el orden que quiera y no importando si tienen o no relación con el contexto y tendrá grandes posibilidades de llegar a presidente de su país (cualquiera sea este, las masas no son más inteligentes en los países avanzados). Dijimos

antes que un ser humano libre tiene un número infinito de $g. l.$ y que las distintas interacciones sociales tienden a restringirlos, de todos modos su número sigue siendo enorme, una persona en un entorno social sigue siendo impredecible. Una masa de gente podría ser más predecible y quizás hasta controlable. Si en una representación teatral algunos de los espectadores aplauden o ríen es probable que todos lo hagan (el colocar empleados entre el público para alentar reacciones favorables es frecuente en el mundo del teatro). ¿Y que hay de los grandes gurues místicos?. Una anécdota extraída de ***El mundo y sus demonios*** de Carl Sagan. El astrónomo relata que en 1988, en Australia, hizo su aparición un personaje que decía ser la reencarnación de un "Maestro Ascendido" con miles de años de edad y poseedor de inefable sabiduría. Sus apariciones en teatros y en televisión se multiplicaron, miles de personas se agolpaban para verlo y escuchar sus "profundas" enseñanzas y leían folletos con resúmenes de su doctrina. Al tiempo, el programa de televisión australiano "60 minutos" anunció que todo había sido una broma. Los conductores del programa admitieron que habían creado al personaje con el objeto de medir la credulidad de la gente y de los otros medios de comunicación. Lo curioso del caso es que después de este anuncio ¡había gente que seguía creyendo que el farsante era la reencarnación de algún ente superior!.

Entonces, el comportamiento de una gran masa de gente ¿podría llegar a controlarse y predecirse quizás mediante ecuaciones estadísticas como las de los gases?. Honestamente, no lo creo. En mi opinión el problema sigue estando en el número de $g. l.$ de la persona individual en comparación, por ejemplo, con los de una partícula. Es suficiente una persona con el grado de ambición y el carisma adecuados (además, claro, del contexto social, económico e histórico correcto) para cambiar el curso de la historia. Esta persona no tiene que ser necesariamente *buena* o *inteligente* basta que hable más alto que otras y emplee las palabras claves (pienso en Hitler o en él, más inocuo sin duda, "Maestro Ascendido", por ejemplo). Nuestra sociedad tiene gran abundancia de psicópatas y no me refiero a los Hannibal Lecter, sino a todas aquellas personas que consideran que sus ambiciones y proyectos individuales están por encima de cualquier otra consideración, moral o social y utilizan cualquier artificio para llegar a sus fines. En el contexto justo y explotando la natural paranoia de cualquier sociedad estos individuos pueden transformarse en líderes y conocemos bien las consecuencias de esto... Creo que el principal escollo de una ciencia psichistórica es la incapacidad para predecir el comportamiento individual de seres como estos. Si leyó la Fundación de Asimov, recordará que un individuo con poderes telepáticos llamado el ***mulo*** puso en jaque todas las predicciones psichistóricas. No creo que se requiera de un ***mulo*** con poderes especiales para que ocurra esto, basta un individuo con determinación para destruir cualquier predicción. ¿Será este el camino al caos de la sociedad humana?. ¿Cómo será el atractor fractal de este sistema?, ¿Cuál será su dimensión?, ni siquiera me atrevo a hacer ninguna suposición al respecto porque probablemente sea el sistema más complejo que existe.

Temo que mi visión hasta ahora haya sido algo deprimente. Es verdad, también existen el altruismo, la abnegación, el amor, el honor y todas aquellas características y sentimientos humanos que anteponen el bien común al individual. Sin embargo al leer los diarios lo primero que salta a la vista son las noticias negativas. Recuerdo que hace unos años las paredes de Buenos Aires se vieron invadidas por unos graffitis muy optimistas que decían: "*El amor vence*". Recuerdo también uno de ellos en el que alguien, no tan optimista, había agregado debajo: "*Si, cuando hay*".

**¿Algún comentario sobre esta nota?
dejalo en nuestros Foros de Discusión**