

LA INCERTIDUMBRE DE PENSAR (EN EL PASADO). LA HISTORIA DE LA TEORÍA DEL CAOS Y SU APLICACIÓN EN ARQUEOLOGÍA.

Daniel García-Raso

*Departamento de Prehistoria y Etnología
UCM*

1.INTRODUCCIÓN: IDEAS PELIGROSAS...IDEAS ENCARCELADAS.

Cuando era pequeño, mi madre siempre me decía que no mirara al sol, pero cuando tuve
seis años lo hice...

MAX COHEN, protagonista de la película *Pi. Fe en el caos*.

Nada es eterno. Todo sucumbe al irreversible paso del tiempo: el pelo se cae; la piel se arruga; la vida se acaba. Las ideas y la ciencia, cambian... El cuerpo científico y el conjunto de ideas que conforman el tema objeto de este trabajo, desafiaron en su momento al *mainstream* o *establishment* científico (y aún lo siguen haciendo), principalmente por introducir en ese mundo dominado por el determinismo, las leyes y la rigidez intelectual, nociones de indeterminismo, aleatoriedad y hasta de libertad en el pensamiento y el lenguaje de la ciencia. Así, ha nacido un nuevo paradigma, un nuevo modo de entender, relacionarse y comprender la ciencia en todos sus ámbitos: la teoría del caos, como se la conoce popularmente, o la teoría de la complejidad, como se le denomina de un modo más general y efectivo, aunque a veces se le suele nombrar de manera conjunta, esto es teoría del caos/complejidad. La cita que encabeza este epígrafe no es casual, pues su sentencia es una de las máximas de este nuevo *corpus* científico: el ir más allá en nuestras explicaciones sobre el mundo y la naturaleza que nos rodea, pincelar una nueva forma de diálogo entre la humanidad y el mundo natural, como diría Ilya Prigogine, uno de los padres contemporáneos de la teoría del caos y la complejidad. No limitarnos por el hecho de que los que nos precedieron en el tiempo –ya sean padres, antepasados o los más ilustres científicos como Newton-

no pudiesen llegar a comprender toda la complejidad que encierra el mundo en el que vivimos, cada día más alocado, más conflictivo, más caótico... Se hace necesario, pues, pensar lo imposible, conseguir lo inalcanzable.

Un buen ejemplo de esta idea nos lo brinda la propia figura de otro de los padres de este nuevo modelo científico. En efecto, Benoit Mandelbrot, el matemático padre de los fractales, recibió el consejo de su tío, también matemático, de evitar la geometría en sus investigaciones (Stewart, 1991: 223-224); su tío nunca pudo imaginar que la desobediencia intelectual de su sobrino, le llevaría a crear un nuevo tipo de geometría, la fractal, la cual ha hecho posible conclusiones hasta entonces insospechadas en campos tan dispares como la geografía, la biología o, quizás sea esto lo que más nos interese, la arqueología, como más tarde veremos; la desobediencia nunca había resultado tan atractiva, ni tan científica. Además, sus repercusiones, que serán analizadas a lo largo de este ensayo, no se han limitado sólo al ámbito científico, sino que sus enseñanzas han calado también en otros campos del pensamiento y el conocimiento, como el arte, desde la pintura hasta el cine, como también tendremos oportunidad de apreciar. Al igual que Mandelbrot, otros científicos, cada uno trabajando en su terreno, cada uno sin conocer al otro, fueron logrando una serie de descubrimientos que, como las piezas de un puzzle, al final han ido encajando y han dado como resultado una pieza homogénea, sin fisuras; los nombres de Henri Poincaré, Ilya Prigogine (premio Nobel de Química en 1977) y su compañera de ensayos, la filósofa Isabelle Stengers, Norbert Wiener o Edward Lorenz, acabarán resultando familiares para quienes tengan la molestia de leerse este trabajo. Resulta curioso que casi todo el mundo, aunque sea sólo de oídas, conozca el nombre de Isaac Newton, pero que apenas a casi nadie le resulten familiares los nombres de estos investigadores, pese a que sus descubrimientos y sus planteamientos han hecho tambalearse los cimientos de la ciencia occidental hasta darle un nuevo sentido; lo que antes era un orden jerarquizado, reglado y legislado, se torna ahora en el más bello orden caótico, azaroso e indeterminado.

Ni siquiera yo había tenido contacto alguno con todos estos autores hasta el momento de empezar esta microinvestigación. Aunque tampoco era ajeno a la existencia de la teoría del caos. La primera vez que tuve contacto con la teoría del caos fue a través de ese medio de culturización aún por descubrir que es el cine. Fue en 1993. En tal época, tenía tan sólo once escasos años y acudí a una sala a ver una película sobre dinosaurios, *Parque Jurásico* de Steven Spielberg. No pude comprender toda la complejidad que encerraba esa teoría del caos que continuamente mencionaba el personaje encarnado por Jeff Goldblum (un matemático del caos llamado Ian Malcolm), pero al menos conocí ya su existencia;

nunca hubiera imaginado que catorce años después acabaría realizando un trabajo sobre dicho concepto. En *Parque Jurásico* (cuya relación con la teoría del caos analizaremos en el anexo II) abundan las referencias hacia el caos y la complejidad, una de ellas en especial nos puede ayudar mucho en esta introducción. En uno de los diálogos del principio de la película, cuando los tres científicos que el dueño del parque de dinosaurios ha contratado para que le den el visto bueno a su creación se dirigen a la isla que lo alberga, Ian Malcolm (nuestro matemático del caos) inicia una conversación con el paleontólogo y la paleontóloga comentándoles:

-Así que...ustedes dos desentierran dinosaurios.

Entre la risa y la molestia le contestan, pero la situación provoca la entrada en discusión del dueño del parque, el Sr Hammond, quien no ve con buenos ojos los planteamientos del científico que su abogado se ha encargado de contratar:

-Tendrán que acostumbrarse al señor Malcolm, sufre de un deplorable exceso de personalidad, sobre todo para ser matemático.

Inmediatamente, Ian Malcolm contesta:

-Caos, de hecho soy especialista en caos. John (el Sr Hammond) no está de acuerdo con el caos, sobre todo en cuanto a su pequeño proyecto científico...

Hammond, un hombre mayor, concienciado con el concepto clásico, reduccionista o mecánico de la ciencia, le contesta:

-Tonterías Iam. Nunca ha podido explicar suficientemente sus reparos a la isla.

Ian Malcolm, después de contestarle que el comportamiento del parque como sistema no es estable, vuelve a preguntar a sus dos colegas:

-¿Conocen la teoría del caos?; ellos contestan No. ¿No?, ecuaciones no lineales, ¿atractores extraños?. Dra. Sadler, me

niego a creer que usted no conoce un concepto como el de atracción...

Mientras la Dra. Sadler esboza una sonrisa a esa especie de cumplido, el Sr. Hammond le dice a su abogado de manera sentenciosa:

-Yo traigo a científicos y usted a una estrella del rock.

Al final de la película, el parque acaba destruido por los dinosaurios, dando la razón al profesor Malcolm. Realmente, los científicos que trabajan con el caos y la complejidad se han tenido que enfrentar continuamente a la imagen de extravagancia y rareza que a ellos se asocia, precisamente por tratar aspectos y temas que antes no se habían pensado. Aunque en realidad, sí se habían pensado. Como veremos, grandes personajes en la historia de la ciencia y del pensamiento, como los filósofos presocráticos o el mismo Leonardo da Vinci, se habían preocupado por ciertos temas que han cobrado un fuerte sentido a la luz de la teoría del caos, como el caso de la turbulencia para Leonardo da Vinci. El problema, y esto está en directa relación con la arqueología, es que carecían de la cultura material idónea para medir, cuantificar y modelar los sistemas caóticos, complejos o, simplemente, inestables. Efectivamente, no es hasta los años 80 del siglo XX cuando la teoría del caos toma una posición de prestigio en el panorama científico, pese a que su origen está en el siglo XIX, en la figura y los planteamientos del matemático y filósofo Henri Poincaré; en cualquier caso, hemos de quedarnos con el dato de que el nacimiento de la teoría del caos y la complejidad es un fenómeno asociado a la época contemporánea. Volviendo a lo que nos interesa para nuestra disciplina, los ordenadores representan la cultura material condición *sine qua non* la teoría del caos pudo tomar forma, ya que la potencia de las nuevas computadoras aparecidas en la segunda mitad del siglo XX, permitieron hacer los cálculos necesarios para modelar los sistemas caóticos y complejos y darles una representación gráfica. Así, a la vez que conocemos la teoría del caos, también, como arqueólogos, percibimos una especial interrelación entre la cultura material, el ser humano, la naturaleza y el pensamiento científico que, como observadores, toma aires de un todo; es por ello, que a esta nueva forma de entender la ciencia, se le ha denominado también como ciencia de la totalidad, ya que reniega de la idea de tratar los *problemas* científicos de manera particular, como si cada uno fuese independiente del otro, como si cada uno fuese una pieza de relojería. El planteamiento no es difícil de entender: puedes dedicar toda tu vida a estudiar

exclusivamente, por ejemplo, las tuercas, pero... ¿sería el esfuerzo invertido en ello proporcional a la utilidad que fueras a obtener? Se trata de un concepto en el que a grandes rasgos, todo está interconectado, incluso las cosas más aparentemente inconexas, y en las que un cambio producido en alguna de sus partes puede repercutir en todo el sistema hasta el punto de provocar cambios irreversibles; otro concepto que estudia la nueva teoría es el conocido como "límite del caos" o "criticalidad autoorganizada", un punto en la evolución de un sistema en el que las dos opciones son autoorganización o colapso.

Pero, quizás, lo que hace especial a la teoría del caos, aparte de ser una de las tres grandes teorías del siglo XX¹, es que junto a sus descubrimientos empíricos llevan explícitamente también una reflexión ética y moral sobre la ciencia y su proceder, algo que en el *mainstream* científico suele producir urticaria. Así, todos estos científicos, que aúnan disciplinas como la física, la química, la biología, la sociología, la filosofía y, también, la arqueología, tienen muy claro que sus postulados teóricos son fruto de una época y una cultura determinadas, y que la ideología juega un papel fundamental en la ciencia, pese a que la mayoría del cuerpo científico niegue con rotundidad esa afirmación. Esto es algo que en arqueología nos suena muy familiar, siendo, también uno de los grandes debates en nuestra disciplina, representada por la oposición, a veces sana, a veces ofensiva, entre el procesualismo y el postprocesualismo. De este modo, la teoría del caos representa un papel intermedio entre estas dos oposiciones universales, entre el positivismo y el humanismo, algo que Ilya Prigogine e Isabelle Stengers denominan como "la nueva alianza", esto es, la unión entre el discurso científico y el discurso filosófico, "la metamorfosis de la ciencia", porque ambas formas de pensamiento son igualmente válidas, igualmente necesarias, igualmente científicas.

De manera, que la teoría del caos lleva implícita una nueva concepción de la ciencia: más abierta, menos jerarquizada, más desordenada, menos autoritaria; no hay preferencia, por ejemplo, entre lo que dice un físico y lo que dice un sociólogo. La ciencia es tanto humana como natural; no podemos pensar que el hecho de ser humanos nos extrae de la naturaleza no humana, del mismo modo que tenemos que ser conscientes de nuestra propia naturaleza particular: vivimos en un mundo y una naturaleza compleja, llena de seres, entes y partículas caóticas, aleatorias y estocásticas; esto hace que se derriben las certidumbres, que se hable de probabilidades y no de certezas absolutas. Que se imponga una aproximación estadística sobre un acercamiento individual. Estas son ideas que han asustado a la

¹ La teoría del Caos junto con la teoría de la Relatividad de Einstein y la teoría Cuántica, son consideradas los tres mayores descubrimientos científicos del siglo XX, por encima, debido sobre todo a su enorme valor teórico, de otros grandes logros de la ciencia, como, por ejemplo, los avances en la investigación del ADN.

ciencia durante mucho tiempo, ya que siempre ha querido verse a sí misma como algo inmaculado, impoluto, sin las manchas y las preocupaciones de los seres humanos, pero son ideas que a la propia humanidad también han acongojado: ¿cómo vivir en un mundo en el que las predicciones son siempre probabilidades? Si la mayoría de los procesos naturales están gobernados por el azar y la autoorganización, por la aleatoriedad y la autonomía, por procesos de inestabilidad... ¿cómo acercarnos a la comprensión de nuestra naturaleza humana, de nuestra propia sociedad o de las sociedades del pasado? ¿Qué papel jugarían la jerarquía y la autoridad: el poder? Todo se reduce a un simple cambio de perspectiva, que ha de tener unas consecuencias únicas a largo plazo; quizás sea el momento de empezar a perder el miedo a pensar que el poder no es natural sino humano, a cuestionar cosas que hasta ahora no habíamos tenido la oportunidad de dudar, a realizarnos preguntas que antes -en otra época y en otro contexto cultural- nunca se hubieran producido por el apocalipsis emocional que ello hubiera supuesto, pero que nuestra época actual, tan convulsa emocionalmente, nos permite realizar...al fin y al cabo, de todos nuestros parientes evolutivos más cercanos, somos los únicos que tenemos una naturaleza preguntona. Se hace inevitable soltar de una vez todas esas preguntas e ideas que siempre han asustado a las estructuras de poder, ya sean estas políticas, académicas o científicas; unos presupuestos considerados peligrosos, y que por ello han estado durante casi toda nuestra historia encarcelados y reprimidos. Pero ahora, la ciencia ha demostrado que existen..., los científicos del caos y la complejidad sólo piden tiempo para comprenderlos.

Con la intención de familiarizar al lector con todo lo que significa la teoría del caos, la primera parte del trabajo se dedicará a trazar una biografía del caos y la complejidad, esto es, una historia de esta nueva manera de afrontar el reto científico, desde la valoración que se daba al caos en el pensamiento mítico hasta las últimas investigaciones realizadas en las décadas de 1990 y 2000. Se hablará de sistemas dinámicos inestables, de sistemas caóticos, del problema de los tres cuerpos que afrontó Henri Poincaré, de ecuaciones no lineales, de atractores extraños, de bifurcaciones, de fractales, de sistemas autoorganizados, de estructuras disipativas...en fin de todos los descubrimientos que se han ido logrando con el paso de los años desde esta nueva perspectiva científica, desde este nuevo paradigma que tiene su origen en una ciencia no empírica sino demostrativa, como es la matemática. Aquí se tratarán los descubrimientos de las llamadas ciencias exactas y naturales, como la matemática, la física o la biología, y se incluirá un anexo en el que se comentará la coherencia que muestra la teoría del caos respecto a la época en la que fue ideada, nuestra época contemporánea. En esta primera

parte del trabajo se trata también la relación de la teoría del caos con las llamadas ciencias sociales y las ciencias humanas: de qué modo toda esta gama de descubrimientos, observaciones y valoraciones se han aplicado a ellas, desde la economía a la psicología, pasando por la antropología o la sociología; en el anexo II, se compila la influencia de la nueva teoría científica en el arte, haciendo especial hincapié en el cine, pero tratando también disciplinas como la música o la pintura. Por razones de espacio, esta primera parte tratará de sintetizarse lo más correcta e íntegramente posible. Por su lado, la segunda parte del trabajo, está dedicada en exclusiva a la relación de la teoría del caos con la arqueología, tanto desde un punto de vista teórico como práctico; aquí intentaremos perfilar la relación que puede establecerse entre nuestra disciplina y el caos/complejidad a la vez que conocemos algunos casos en los que ya se ha aplicado este nuevo paradigma. También se intentará comprender lo absurdo de una oposición que puede ser la más asentada en la arqueología, como es la existente entre el procesualismo y el postprocesualismo. Por último, se intentará también sacar ciertas conclusiones, tanto en relación con lo que a conocimiento científico se refiere como a lo que nos puede enseñar el caos y la complejidad en relación con el pensamiento arqueológico.

La intención es la de hacerlo gratificante para quien lo lea, pues pese a que en apariencia pueda parecer caótico y desordenado, encierra en sí mismo el más armónico de los órdenes.

2. BIOGRAFIANDO EL CAOS, CONOCIENDO LA COMPLEJIDAD.

Antes que todas las cosas fue el Caos
HESÍODO, *Teogonía*.

ESCÉPTICO: Fíjate en Smale, ese tipo diseñador de ecuaciones diferenciales. Todas sus ecuaciones quedan muy bien; pero el mundo real no se comporta de esa manera.

CAOSOFO: Si puede ser estructuralmente estable en la matemática, también podrá observarse en la naturaleza.

ESCEPTICO: Entonces, ¿por qué no hemos visto ninguna ecuación como las tuyas?

CAÓSOFO: Porque hemos estado buscando el comportamiento regular. Ningún físico que se encuentre con ecuaciones como éstas se arriesgaría a publicarlas.

ESCEPTICO: Bien, entonces ¿qué pasa con los experimentos? ¡Hemos de observar este tipo de comportamientos en los experimentos!

CAÓSOFO: Pero si lo estamos haciendo todo el tiempo. Desgraciadamente, sin embargo, existe un estorbo. ¿Sabes de algún experimental que se atreviera a publicar un artículo que dijese "he obtenido resultados completamente aleatorios"?

ESCEPTICO: Tienes toda la razón. Pero el hecho sigue siendo que nunca convencerás a los científicos sobre este asunto del caos a menos que les demuestres que sucede en la naturaleza.

CAÓSOFO: De acuerdo. Estamos trabajando en ello. No es fácil, tú lo sabes. Hemos llegado a desarrollar una forma totalmente nueva de pensar en la dinámica. Es *duro*. Pero una cosa que aparece tan naturalmente como esto en la matemática, debe de estar por todas partes. ¡Me extrañaría que no la halláramos!

ESCÉPTICO: ¡No sabes cuánto me alegraría!

IAN STEWART (diálogo diatriba entre un escéptico y un amigo del caos), *¿Juega Dios a los dados?*

2.1. DEL MITO AL OLVIDO.

La primera parte de este epígrafe no pretende dar a entender que en tiempos anteriores a la era científica, ya se postulaban los contenidos de la teoría del caos y la complejidad, ni mucho menos, sino más bien, reflejar de algún modo que la idea de un caos primitivo, generador de orden y de vida, u opositor complementario al orden no es una idea nueva que haya surgido de la nada, ya que "la turbulenta y flamante perspectiva científica que ve una reciprocidad entre el orden y el caos es también una idea vieja"(Briggs y Peat, 2005: 19); también, trataremos de dilucidar de qué modo estas ideas fueron poco a poco relegándose a un oscuro ostracismo cada vez que más cerca estábamos del nacimiento de la ciencia clásica, mecánica o reduccionista. Comenzaremos por el principio, es decir, por el pensamiento llamado mítico en las sociedades prehistóricas, para seguir con las mitologías de las civilizaciones clásicas y terminar con el nacimiento del pensamiento científico, acaecido entre la Grecia clásica y la época moderna, o entre el siglo V-IV a. C. y el XVIII d. C.

Las sociedades primitivas² carecían de una relación con la naturaleza que pueda catalogarse de científica: no ideaban teorías ni hipótesis. No obstante, esto no significa que no trataran de sacarle un sentido al mundo y los fenómenos que les rodeaban, para así no sentirse absolutamente inseguros en una naturaleza hostil, a través de la mitología (Hernando, 2002: 89). El mito no deja de ser más que un intento de explicación de la realidad; una diferencia fundamental entre el pensamiento mítico y el científico es que el mito se vive, mientras que la ciencia se construye y se cavila.

En el pensamiento mítico se habla de caos. Así, al menos, nos lo expone Mircea Eliade (1981: 32), cuando nos habla de la oposición que las sociedades de la tradición establecen entre el mundo habitado por ellos y el territorio inhóspito que les rodea: "el primero es el *Mundo*, el Cosmos; el resto ya no es un Cosmos, sino una especie de *otro mundo*, un espacio extraño, caótico". Pero ambos mundos no se desconocen el uno al otro sino que más bien se complementan, ya que al ocupar ese espacio de caos "el hombre lo transforma simbólicamente en Cosmos (...) lo que ha de convertirse en *nuestro mundo* tiene que haber sido *creado* previamente" (ibidem: 33); nuestros antepasados lo intuyeron: el caos tiene algo que ver en todo esto.

En las civilizaciones antiguas quizás esto sea más evidente, a través de su mitología. Ya nos lo dijo Hesíodo en su Teogonía, es decir, en el poema de la creación helénico que se difundió por toda la Grecia Antigua: el caos es anterior a todo, de él nace la madre tierra, Gea, el Eter, Nix y Hémero...de toda esta gama de seres primigenios nacerían por activa o por pasiva todos los dioses y diosas olímpicos³. Si echamos una mirada a uno de los muchos diccionarios sobre mitología clásica que abundan en cualquier biblioteca, encontramos la siguiente definición para caos: "es la personificación del vacío, en unos casos; de la mezcla informe, en otros. Es anterior a todo, pero no es concebido como creado de la nada ni como algo siempre existente"⁴. Nos encontramos, por tanto, con que los griegos valoraban el caos de manera explícita, y no eran los únicos. Así, tanto en el antiguo Egipto, a través de ese universo primitivo sin forma llamado Nut, como en la tradición china (algo que tendremos oportunidad de apreciar más detenidamente: ver Anexo I) representado mediante el concepto del Yin y el Yan o en la cosmogonía babilónica, aparece el caos como principio de todo, siempre en una estrecha relación con el orden o cosmos, a veces en forma de lucha violenta, como

² En este caso, debemos de tomar la palabra "primitivo" en sentido estricto, esto es, las sociedades que existían en nuestro planeta antes de la aparición del Estado. Parece obvio tener que decirlo, pero sí se hiciera referencia a poblaciones actuales tradicionales (cazadores-recolectores, tribus horticultoras o ganaderas, reservas de indios...) se utilizarían términos menos peyorativos, como preindustriales o aindustriales.

³ Hesíodo, Teogonía (1990), edición de la editorial Porrúa S. A., México D. F.

⁴ Diccionario de mitología clásica (2000), Alianza Editorial, Madrid.

aparece en la Biblia, otras en aras de una necesidad constante de relacionarse el uno con el otro (Briggs y Peat, 2005: 19-20); lo que parece quedar claro, es que ambos se conocían bastante bien.

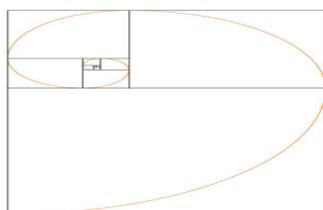
¿Qué pudo pasar para que ambos dejaran de relacionarse? La respuesta, debemos buscarla en los orígenes del mundo occidental, otra vez, en la Grecia antigua, más bien en la clásica. En efecto, es a partir sobre todo de Aristóteles cuando al caos se le comienza a aislar, a marginarse, a olvidarse...No obstante, aún los filósofos presocráticos como Tales, Anaximandro y Anaxágoras "entendían que una sustancia o energía específica –agua o aire- había estado en flujo caótico y que a partir de esa sustancia se habían plasmado las diversas formas del universo" lo que mejoraba la idea mítica del desorden y le inyectaba una actitud científica (ibidem: 21). Después de Sócrates y de su discípulo Platón, le llegó el turno a Aristóteles quien "llevó el enfoque científico un paso más allá, y se distanció aun más del caos. Conjeturó que el orden lo impregna todo y existe en jerarquías cada vez más sutiles y complejas" (ibidem): orden y jerarquía, tal vez dos de las características más acuciantes del mundo occidental. Sin embargo, no todo fue represión hacia el caos durante la época clásica, esto es la Grecia y la Roma antiguas, más bien se siguieron pensando pese a la actitud de Aristóteles; como veremos a continuación, la razón del olvido hay que buscarla en una época muy rígida intelectualmente en comparación a otras épocas históricas: la Edad Media. Pero volvamos a Grecia y Roma.

De todos los filósofos griegos, hay uno que hemos de destacar especialmente, alguien a quien Antonio Escohotado (1999: 125) denomina como "un aristotélico con ideas propias", el filósofo atomista Epicuro (341-270 a. C), sucesor de Demócrito. Epicuro:

"imaginaba el mundo constituido por átomos moviéndose en el vacío. Pensaba que caían todos con igual velocidad, siguiendo trayectorias paralelas. ¿Cómo podían entonces entrar en colisión? (...) ¿Qué podía significar la libertad humana en el mundo determinista de los átomos?" (Prigogine, 1997: 17).

Es lo que se conoce como el *dilema de Epicuro*. Epicuro, inventó un concepto para explicar tamaña problemática para la existencia y el devenir humanos, el *clinamen*, una tendencia de los átomos que les llevaba a alejarse del equilibrio y a caer en la declinación; tal ingeniosa propuesta fue encerrada por los fundadores de la ciencia clásica (Galileo, Kepler, Descartes y Newton) en la tétrica cárcel de las ideas peligrosas, pues la consideraban absurda y fútil (Briggs y Peat, 2005; Escohotado, 1999; Prigogine, 1997; Prigogine y Stengers, 2004; Stewart, 1991).

La ciencia mecánica y reduccionista, como no podía ser de otra forma, volvía sus ojos hacia lo clásico y lo estandarizado, hacía lo que era considerado como la norma suprema, es decir, hacia Aristóteles y los filósofos clásicos; aún hoy lo sigue haciendo. La teoría del caos revaloriza a esta serie de pensadores, tanto a los presocráticos (Tales, Anaximandro, Anxágoras...) como a los postsocráticos tipo Epicuro. Sin embargo, las ideas proto-caóticas no vinieron sólo de la mano de la filosofía de la Grecia clásica, sino también de la matemática⁵. En efecto, durante la Grecia clásica se ideó también el concepto de la proporción áurea, que se basa en la serie matemática conocida como de Fibonacci⁶; con la proporción áurea se puede construir una espiral, una de las formas fractales más primigenias, ya que es un reflejo de la iteración y la autosimilitud (esta última, quizás la mayor característica de la nueva geometría fractal de Mandelbrot). La proporción áurea aparece en el Partenón de Atenas, en la cruz cristiana, en los naipes, las tarjetas de crédito o el edificio de la Asamblea General de la ONU, en la espiral de los moluscos y otras varias estructuras de lo orgánico y lo inorgánico: distribución de las hojas de las plantas, las pipas de un girasol o el rizo de las olas (Escohotado, 1999: 32); es también esta una de las características de la teoría del caos, la ruptura de la barrera que separa a lo orgánico de lo inorgánico. En honor al escultor griego Fidias, se le conoce por la letra del alfabeto griego *fi* (fig 1). En Roma, hubo también seguidores de las ideas de los atomistas y de Epicuro, como Lucrecio (99-55 a. C). Pero tras la caída de Roma, llegó el adiós al caos y a la búsqueda de explicaciones más complejas. Las ideas de Aristóteles se mantendrían prácticamente inalteradas hasta la llegada de nuestra época contemporánea en el siglo XIX, sobre todo la del *axioma* (dignidad y pretensión en griego clásico), palabra transformada por Aristóteles en concepto científico y que desde entonces utilizamos para definir un principio deductivo o postulado inicial; "en contraste con lo profundo, lo complejo o lo denso, el axioma ha de ser transparente y supremamente sencillo" (Escohotado, 1999: 104).



⁵La distinción entre filosofía y matemática es contemporánea; es muy poco probable que en la antigüedad ambos términos se concibieran de una manera tan separada a como se hace hoy.

⁶ 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55..., esto es conocido como iteración; cada nuevo elemento constituye la suma de los dos previos.



Fig 1. Fi y su presencia en lo orgánico y lo inorgánico (Wikipedia).

Durante la Edad Media las ideas de Aristóteles, la geometría de Euclides (la que todos conocemos, basada en figuras como el círculo, el triángulo o el cuadrado) o los postulados de Pitágoras, hubieron de sobreponerse a las antiguas ideas sobre el caos a través de una guerra conceptual, filosófica e intelectual, un conflicto que los alquimistas medievales ejemplifican muy bien, pues:

“creían en una creación a partir de un caos preexistente que incluía lo grotesco y lo irracional. Pensaban que la mutabilidad, la oscuridad y el cieno generaban la vida, que los descensos al caos y los encuentros con monstruos acarreaban vitalidad, que la creación era un proceso en constante renovación” (Briggs y Peat, 2005: 21).

Esto es importante, porque a los alquimistas, en un claro ejemplo de anacronismo intencionado desde el *mainstream* científico, siempre se les suele presentar como a científicos y cuasi magos, como algo ajeno a la historia de la ciencia; este ejemplo nos recuerda la importancia del contexto cultural en el que nace cualquier tipo de intento de diálogo con la naturaleza. Los alquimistas, “eran científicos que trabajaban con instrumentos y métodos científicos y realizaron importantes descubrimientos químicos” (ibidem), sin embargo, la ciencia clásica siempre los ha rechazado como algo propio, a pesar de que utilizaran los mismos instrumentos (léase, la misma cultura material) y métodos que los considerados científicos de la Edad Media; lo que les hacía distintos era que no compartían la idea de orden, jerarquía y racionalidad del pensamiento aristotélico, que en esa época comenzaba a producir lo que desde posiciones arqueológicas se ha denominado como “la desmitificación del mundo” (Hernando, 2002: 170-180). La batalla por el control de la forma de entender la naturaleza y el universo, había sido perdida por el caos y ganada por el espíritu científico clásico en tiempos de Galileo, Kepler, Descartes y Newton; es en esta época cuando se instaura el mecanicismo. De algún modo, el pensamiento o revolución científica que se inicia en la Grecia antigua y culmina con Newton llevó a la ciencia a tener una visión del mundo, la naturaleza y el universo como si estos fueran un reloj enorme “para expresar la

fiabilidad y la precisión mecánicas absolutas” y “de acuerdo con esta visión, una máquina es, por encima de todo, predecible” (Stewart, 1991).

Es curioso comprobar cómo en esta época se producen cambios importantes en la cultura material, con la estandarización del uso del reloj, incluso de pulsera, “que regulaba los nuevos ritmos de la vida industrial” siendo “una de las más urgentes entre las nuevas necesidades que el capitalismo industrial desarrolló para dar energía y pulso a su avance” ya que “el *tiempo* comenzaba a ser un valor, una *obsesión*, convirtiéndose así en el parámetro dominante” (Hernando, 2002: 191). Conviene señalar aquí dos aspectos muy brevemente: a) durante el Renacimiento se produce la instauración del antropocentrismo, algo que la teoría del caos trata de superar y b) que el mercantilismo fue un acicate sin parangón para la ciencia, ya sea para bien o para mal, y que es este un aspecto sobre el que los teóricos del caos y la complejidad del siglo XX, englobados por la teoría de sistemas, suelen reflexionar; ambas cosas serán tratadas más adelante⁷. Es sobre todo la figura de Newton, la que hay que destacar, ya que a él se le ha tenido siempre como el padre de la ciencia clásica, pese a que hundiera las raíces de su pensamiento en el mundo aristotélico. La formulación de sus tres leyes en su *Principios matemáticos de la filosofía natural* unido a las coordenadas cartesianas:

“crearon la impresión de que todo se podía describir en términos matemáticos o mecánicos (...) el reduccionismo ve la naturaleza como la vería un relojero. Un reloj se puede desarmar y descomponer en dientes, palancas, resortes y engranajes. También se puede armar a partir de esas partes. El reduccionismo imagina que la naturaleza se puede armar y desarmar de la misma manera. Los reduccionistas creen que los sistemas más complejos (como una sociedad humana, *n. del autor*) están compuestos por los equivalentes atómicos y subatómicos de los dientes, palancas y resortes, los cuales la naturaleza ha combinado en un sinfín de maneras ingeniosas” (Briggs y Peat, 2005).

Es decir, la naturaleza o el universo se pueden conocer estudiando cada una de las partes por separado. Ya hemos mencionado antes cómo la teoría del caos se opone a esta idea al proponer una aproximación más cercana a un todo interconectado, en el que el estudio individual o particular de las partes por separado no tiene ningún sentido; es este un aspecto sobre el que volveremos más tarde. Por ahora, hagamos un repaso rápido a las tres leyes básicas de Newton,

⁷ Así como la figura de Leonardo da Vinci, que se interesó por fenómenos caóticos como la turbulencia. Se ha preferido tratar este aspecto de Leonardo fuera de este apartado para incluir la información en el momento en que se trate en exclusiva la turbulencia.

puesto que, como veremos a continuación, son las que la teoría del caos ha deconstruido; las tres tratan sobre la relación causa-efecto (Stewart, 1991: 39):

1) Si no actúan fuerzas sobre un cuerpo, entonces éste permanece en reposo o se mueve uniformemente en línea recta.

2) Su aceleración es proporcional a la fuerza que está actuando.

3) A cualquier acción corresponde siempre una reacción igual y opuesta

Estas son las leyes que han gobernado la ciencia durante poco menos de trescientos años, hasta el resurgimiento del caos, que daban una visión del tiempo (algo que a la historia y a la arqueología le incumbe demasiado) de certeza y reversibilidad, a la vez que propugnaba una aproximación individual al fenómeno o proceso estudiado; todo se puede predecir, no hay diferencia entre pasado y futuro: se instaura una simetría temporal.

Al menos, "una de las razones es de orden ideológico: el deseo de un punto de vista cuasi divino sobre la naturaleza" (Prigogine, 1997: 40). No es de extrañar que Ylia Prigogine e Isabelle Stengers se refieran a Newton, en un sentido entre trágico e irónico como el "nuevo Moisés", ya que lo que sucedía era que se trataba de teologizar la ciencia, convertirla en una verdad absoluta y suprema, en una certidumbre fehaciente: a Newton le fueron mostradas las "tablas de la ley" de la naturaleza y el universo (Prigogine y Stengers, 2004: 51-55). También la moral y la política vieron en el "episodio newtoniano" el aspecto sobre el que fundamentar sus argumentaciones; las leyes de Newton reflejaban el nuevo orden: "la monarquía constitucional es el mejor de los regímenes en tanto en cuanto el Rey ve, tal como el sol, su poder limitado" (ibidem: 52). Un texto seleccionado de la época, ayudará a comprender mejor este aspecto:

"Como ministros atentos a cada una de sus miradas, seis mundos rodean su trono en una danza mística. Curva el curso divergente de sus movimientos y doblega sus órbitas con fuerzas atractivas; sus poderes, limitados por leyes, los deja, sin embargo, libres; dirige, pero no destruye, su libertad."⁸

⁸ J. T. Desaguliers: *The Newtonian System of the World, the best model of government: an allegorical poem*, 1728, citado en Prigogine y Stengers, 2004: 52. A su vez, ambos autores extraen el poema de una fuente secundaria, Fairchild, H. N. (1939): *Religious trends in English Poetry*, vol 1, Nueva York, Columbia University Press.

Dirige su libertad, aunque no la destruye: la pregunta es ¿por qué dirigir la libertad?



Fig 2. Isaac Newton, 1646-1727 (Wikipedia).

2.2. EL RESCATE CONTEMPORÁNEO: PADRES DEL CAOS MODERNO, AMANTES DE LA COMPLEJIDAD.

-El siglo XIX (1): estadística

La proclamación de Newton como nuevo profeta de la ciencia y símbolo de la revolución científica europea iba a tener unas consecuencias inmediatas, sobre todo en la figura de Pierre Simon Laplace, dado que para los newtonianos, para la ciencia clásica, todo se puede reducir a un sistema de leyes, ya sea de orden natural, moral, social o político (Prigogine y Stengers, 2004: 53). Hay que recordar que la teoría del caos no pretende minusvalorar ni despreciar toda la serie de descubrimientos que se realizaron hasta esta etapa de la historia de la ciencia europea, más bien, se trataría de buscar la coherencia con los nuevos tiempos, escapando del contexto cultural en el que fueron proclamadas las leyes de Newton, pues:

“todavía hoy, la ciencia newtoniana representa un éxito ejemplar. Los conceptos dinámicos que ha introducido constituyen una adquisición definitiva que ninguna transformación de la ciencia podrá ignorar. Sin embargo, la Edad de Oro de la ciencia clásica está, bien lo sabemos, acabada, y al mismo tiempo desaparece la idea de que la racionalidad newtoniana –cuyas diversas interpretaciones se enfrentan desde entonces abiertamente- puede bastar para unificar el conocimiento” (ibidem: 54).

Como decíamos más arriba, Laplace iba a intentar elevar las leyes de Newton a la máxima potencia, elaborando lo que el filósofo norteamericano Peirce iba a

denominar "la doctrina de la necesidad" (Hacking, 2006: 31), esto es, el determinismo, la negación de la libertad. Laplace imaginaba:

"una inteligencia que pudiera abarcar todas las fuerzas en virtud de las cuales la naturaleza está animada y la situación respectiva de los seres que la componen (...) ella debería comprender en la misma fórmula los movimientos de los mayores cuerpos del universo y los movimientos del más ligero átomo; para ella, nada sería incierto y el futuro y el pasado serían el presente a sus ojos" (Laplace, 1814, citado por Hacking, 2006: 32).

Otra vez, se lanzaba la idea de que no existía diferencia entre pasado y futuro, la simetría temporal se asentaba cada vez más; resulta curioso cómo desde la arqueología, esta idea cae por su propio peso, ya que en el siglo XIX "el tiempo es ahora dinámico y abierto, el futuro, distinto del presente, porque éste es distinto del pasado" (Hernando, 2002: 192). En efecto, se estaba produciendo una fractura con la época anterior. Ya había acaecido la Revolución Francesa, madre conceptual del mundo que en la actualidad nos ha tocado vivir, las perspectivas cambiaban, también las de la ciencia. La industrialización iba a implantar la era del calor y el nacimiento de la termodinámica, disciplina estudiada exhaustivamente por Ylia Prigogine. Para Prigogine, como veremos al llegar al siglo XX, la termodinámica rompe la simetría temporal, e instaura la flecha del tiempo, esto es, la idea de que pasado y futuro son totalmente distintos (Prigogine, 1997; Prigogine, 1999; Prigogine y Stengers, 2004). Curioso: una arqueóloga y un físico-químico llegando a las mismas conclusiones a través de dos ciencias distintas, aunque no tanto: en las dos aparece el tiempo.

Durante el siglo XIX, todo se transforma: el mundo camina hacia la conquista de la sacrosanta democracia, el descubrimiento del calor instaura el barco de vapor frente al de vela (cambio en la cultura material) y también cambian los planteamientos científicos. Poco a poco, el mundo se dirige hacia la "domesticación del azar y la erosión del determinismo" (Hacking, 2006): todo está interrelacionado, todo está interconectado.

¿Qué ocurrió durante el siglo XIX, época de profundos cambios en la estructura de la civilización occidental⁹, y también en el pensamiento científico? La aspiración de esta disertación es exponer de qué manera el determinismo comenzó a resquebrajarse, precisamente por un intento salvaje de someter todos los aspectos de la vida humana a las leyes de Newton y el pensamiento de Laplace, que produjo

⁹ En este siglo nacerían las ideas sobre el parlamentarismo y la democracia, el colonialismo, los derechos humanos, la muerte de Dios auspiciada por Nietzsche, el capitalismo más salvaje criticado por Marx, el psicoanálisis de Freud...lo que no es poco.

que el azar se impusiera sobre la "necesidad" de tenerlo todo controlado, todo determinado. La erosión del determinismo (o la domesticación del azar) se iba a dar en diferentes campos y de forma gradual durante el siglo XIX. Uno de los motivos, fue la instauración de la estadística como ciencia; el otro, el nacimiento del problema de los tres cuerpos de Poincaré, pieza clave en el nacimiento de las ciencias del caos; ambas cosas están relacionadas con el contexto en el que nacen, el siglo XIX. Así, durante esta etapa es cuando comienza a consolidarse el estado liberal y capitalista contemporáneo (todavía en pugna con el estado moderno despótico y reaccionario, gobernado por leyes absolutas, léase, leyes newtonianas) y la necesidad de tener controlada a la gente, a la ciudadanía, a la población (vayámonos quedando con la noción de aproximación estadística). Por este motivo, se trató de generalizar el concepto de ley hacia la sociedad y la vida humana¹⁰, tratando de sacar leyes estadísticas.

En este sentido se entienden las investigaciones que realizó Adolphe Quetelet (1796-1874), astrónomo, matemático, sociólogo y estadístico belga. En el siglo XIX, se desarrolló la "ley de los errores" para la observación astronómica y otras ciencias de la medición; Quetelet, entusiasmado con esta idea se afanó en afirmar que ciertos rasgos humanos presentaban una curva gráfica o una distribución similar, precisamente "como la que desde mucho tiempo atrás se asociaba con echar suertes con una moneda" (ibidem: 158). Existían dos maneras de acercarse al problema de Quetelet, bien por una aproximación al término medio, bien valorando el término medio y alguna dispersión¹¹. Pero Quetelet "cambió las reglas del juego. Aplicó la misma curva a fenómenos biológicos y sociales en los que el término medio no es en modo alguno una cantidad real o, para decirlo de otro modo, *Quetelet transformó el término medio en una cantidad real*" (ibidem: 159); impaciente por demostrar que esto se podía aplicar a poblaciones humanas, se preguntaba acerca del hecho de que la estatura de los varones era desconocida en los países más civilizados de Europa. Era algo que al Antiguo Régimen no le había preocupado conocer, pero para el nuevo estado liberal y capitalista decimonónico sí lo era; se hacía necesario para tener un mayor control sobre la población, algo así como una exigencia burocrática del liberalismo, régimen al que Quetelet, culturalmente, pertenecía. Invertir tiempo en reunir tal información sólo tenía sentido si se pensaba, como Quetelet, que ello "significa alguna característica real y

¹⁰ Hay que señalar que también los planteamientos de Darwin ayudaron en este sentido, dando lugar al darwinismo social. No obstante, también las ideas de Darwin contribuyeron a la erosión del determinismo. Pese a que en el trabajo hablaremos de evolución más adelante, los límites del mismo impiden trascender a una mayor profundidad de este aspecto.

¹¹ Esta segunda aproximación, era la que utilizaban los astrónomos en sus observaciones, y que dio lugar al concepto de "error probable": "la idea central consiste en que el error probable divide las mediciones en dos clases igualmente probables: en el largo plazo la mitad de las mediciones errará en exceso respecto del error probable y la otra mitad será más exacta" (ibidem: 159).

subyacente de una población" (ibidem). Él lo dejó claro ante la comisión estadística belga en un discurso pronunciado el 21 de febrero de 1844 en Bruselas:

"Otra cuestión de suma importancia se presenta aquí. Puede uno preguntarse si en un pueblo existe un "homme type", un hombre que represente a ese pueblo por su estatura y en relación con el cual deben considerarse todos los demás hombres de la misma nación como desviaciones más o menos grandes. Las cifras que uno obtenga al medir a estos últimos se agruparán alrededor de un término medio, de la misma manera que los números que uno obtendría si ese mismo hombre tipo hubiera sido medido numerosas veces mediante métodos más o menos imprecisos" (citado por Hacking, 2006: 157).

Quetelet se lanzó a la búsqueda de datos para llevar a cabo sus planteamientos, una búsqueda que fue totalmente aleatoria y azarosa. Encontró una fuente en el *Edinburgh Medical Journal*, que en 1817 publicó la medida de la altura y del tórax de más de 5.000 soldados pertenecientes a once regimientos escoceses: ignoró las estaturas, combinó las distribuciones de perímetros de las cajas torácicas de los diferentes regimientos, incurriendo en algunos errores de suma y obteniendo una distribución de 5.738 tórax con máximos de 39 pulgadas en 1073 soldados y de 40 pulgadas en 1079 soldados; llegó a la conclusión de que eso era como si midiera el tórax de un solo soldado escocés de casi 40 pulgadas de perímetro (ibidem: 163). El conjunto total de tórax se veía como si fuese uno solo, la ley de los errores se aplicaba a ese atributo humano:

"las cajas torácicas escocesas podían llegar a ser parte de la estabilidad estadística. ¿Cómo debía entender uno la estabilidad estadística en un universo laplaciano, en un universo en el que un espíritu convenientemente informado sería capaz de calcular todos y cada uno de los futuros sucesos partiendo de una exposición completa del estado de cosas en el universo y en un momento determinado? (...) Había una respuesta más estructurada expresada desde el punto de vista de minúsculas causas que determinan la producción de un hecho" (ibidem: 165).

Se iba perdiendo la idea newtoniana de que a cualquier acción corresponde siempre una reacción igual y opuesta (tercera ley de Newton). Poco a poco y sin saberlo, durante el siglo XIX el determinismo newtoniano se iba erosionando, dando cabido al azar, al caos...Durante esta época, y después de las investigaciones de Quetelet, se produjo una "inundación estadística"; el mismo Quetelet aplicó su distribución a los soldados franceses, "se investigó toda clase de rasgo físico del ser

humano, luego de todo el reino animal y de todo el reino vegetal. Luego se investigaron los atributos morales desde este punto de vista" (ibidem: 164). Fruto de todas estas investigaciones, nacería la frenología, una disciplina abandonada en la actualidad que aboga porque las facultades psíquicas están localizadas en partes del cerebro y en correspondencia con relieves del cráneo, por lo que el examen de estos permitiría reconocer el carácter y las aptitudes de una persona. Los científicos se lanzaron a la medida de los cráneos para determinar quien era un delincuente, un inmoral o un loco; comenzó a aparecer el concepto de persona y personalidad "normal", y se asentó el uso del término "determinismo", que logró su significado actual en 1850 (ibidem: 231). En efecto, en tal época, se asentaron la mayoría de conceptos en relación al individuo occidental que hoy se aceptan como lo "normal"; el nuevo sistema político, amalgama de toda una mixtura de valores morales y éticos, comenzaba a imponerse. Pero esa misma intención provocaba que la crítica hacia el propio sistema, ya fuera en lo económico o político (Marx y Engels), en lo psicológico (Freud) o en lo filosófico (Nietzsche), se hiciera más necesaria, y hasta cierto punto más radical. El marxismo, el nihilismo o el psicoanálisis, vistos desde esta perspectiva, parecen responder intelectualmente al intento de determinar para siempre la existencia humana que se intentaba imponer desde el nuevo régimen occidental. A la vez, crecían ideas inicuas basadas en estudios estadísticos de tipo racial o social –cuya manifestación más grande es el creciente antisemitismo¹², representado ejemplarmente por el *caso Dreyfus* de Francia-, e ideas de equidad y de justicia. Parece claro que la erosión del determinismo provocaba la aparición de dos visiones sobre el mundo occidental y el nuevo Estado-Nación: una protectora y triunfalista; la otra crítica.

-El siglo XIX (2): Poincaré

¿Qué ocurría mientras en las llamadas ciencias puras, y más concretamente en la matemática? Conozcamos al que ha sido reconocido como el padre del caos, el filósofo y matemático francés Henri Poincaré, que fue el que introdujo el concepto de caos en los sistemas deterministas newtonianos, aparte de escribir tratados sobre filosofía de la ciencia y propiciar la aparición de una nueva disciplina, en estrecha relación con la teoría del caos, la topología. También, tratáremos de acercarnos a la persona detrás del científico.

De algún modo, parece que la tensión (tanto emocional como política o material) que se generaba en Europa y el mundo occidental producida por el

¹² El antisemitismo había existido siempre en Europa desde tiempos medievales, pero durante el siglo XIX crece violentamente, hasta desembocar en el genocidio de la II Guerra Mundial.

avance e instauración del capitalismo y el liberalismo, en oposición a los valores del antiguo régimen, y a una industrialización cada día más latente, se reflejaba también en la evolución de las ciencias exactas, como la física y la matemática. Es una idea que en principio puede parecer estafalaria, pero que no tratar de investigar podría ser fruto de una cobardía intelectual. Comencemos por el problema de los tres cuerpos (fig 4) de Poincaré.

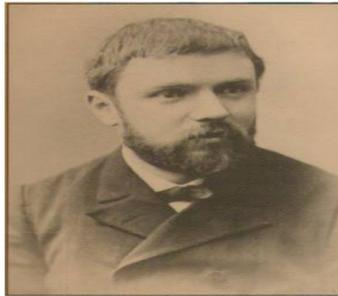


Fig 3. Henri Poincaré, 1854-1912 (Wikipedia).

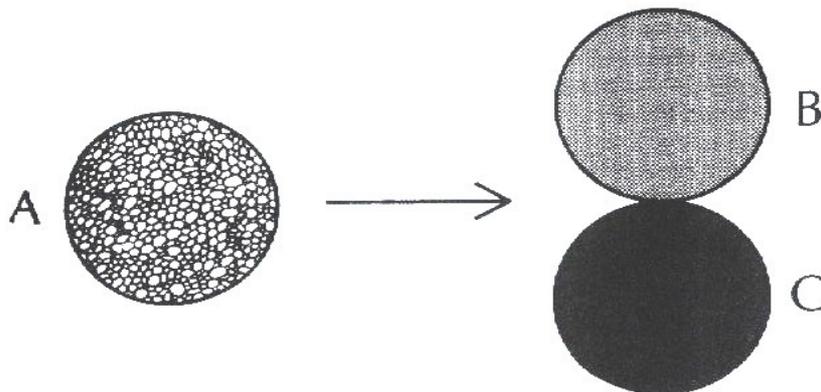


Fig 4. El problema de los tres cuerpos. El resultado depende de si A golpea primero a B o a C. Si golpea a ambas a la vez, las leyes de Newton son incapaces de explicar qué sucede. Sería como intentar predecir el movimiento de las bolas de billar americano al iniciar la partida, rompiendo el triángulo (Stewart, 1991).

En 1889, y como parte de la celebración de su sexagésimo cumpleaños, el rey de Suecia Óscar II anunció una competición matemática con el objeto de determinar la estabilidad del sistema solar. Poincaré participó y se llevó el premio, pero sin resolver el problema. El rey de Suecia, había convocado el concurso bajo un sentido newtoniano, esto es, bajo una dualidad que opone únicamente dos cuerpos, uno que ejerce la fuerza y otro que la recibe, es lo que se conoce como "*mecánica de los sistemas cerrados*, el epítome de la física newtoniana" (Briggs y Peat, 2005: 26) y:

“los científicos clásicos estaban convencidos de que el azar y el caos que perturban ciertos sistemas –tales como un péndulo en el vacío o los planetas que giran en nuestro sistema solar- sólo podían provenir de contingencias aleatorias exteriores. Al margen de estas, el péndulo y los planetas deben continuar para siempre su invariable trayectoria” (ibidem: 27).

Poincaré cometió la osadía de dudar de la estabilidad del sistema solar. Como se ha dicho, no resolvió el problema, pero se llevó el premio, ya que señaló que aquél estaba mal planteado:

“en un sistema que sólo contenga dos cuerpos, tales como el Sol y la Tierra o la Tierra y la Luna, las ecuaciones de Newton se pueden resolver con exactitud: la órbita de la Luna alrededor de la Tierra se puede determinar con precisión (...) Pero también tenemos que olvidar el efecto del Sol y los demás planetas en este idealizado sistema de dos cuerpos. El problema consiste en que dar el simple paso de pasar de dos a tres (por ejemplo, al tratar de incluir los efectos del Sol en el sistema Tierra-Luna) las ecuaciones de Newton se vuelven insolubles. Es la diferencia que hay entre sistemas dinámicos estables o inestables. Por razones matemáticas formales, la ecuación de tres cuerpos no se puede deducir con exactitud” (ibidem).

Las ecuaciones newtonianas son lineales, el problema de los tres cuerpos requería una aproximación no lineal, con ecuaciones no lineales, las cuales son mucho más difíciles de resolver que aquéllas (Stewart, 1991: 87). Una ecuación lineal puede ser, por ejemplo, la clásica de la velocidad¹³ ($V = E / T$), donde “hallando una o dos soluciones, se obtienen muchas más sin costo extra” (ibidem); las ecuaciones no lineales, por su parte, abren diferentes soluciones continuamente saltando de un sitio a otro, requieren formas más complejas de resolución. Se puede comprobar el aspecto de una ecuación no lineal en la fig 5.

¹³ No todas las ecuaciones lineales, ni mucho menos, son así de sencillas, pero por lo general son más fáciles de resolver que las no lineales.

$$\begin{aligned}
& \int_{-B}^B e^{-2\pi i u \tau} d\tau \int_{-B}^B e^{2\pi i u \tau_1} d\tau_1 \frac{1}{A^2} \int_0^A ds \int_0^A d\sigma \int_{-\infty}^{\infty} dt_1 \int_{-\infty}^{\infty} dt_2 \\
& \times [K(t_1 + \tau + s) \overline{K(t_1 + s)} \overline{K(t_2 + \tau_1 + \sigma)} K(t_2 + \sigma) \\
& + K(t_1 + \tau + s) \overline{K(t_2 + s)} \overline{K(t_1 + \tau_1 + \sigma)} K(t_2 + \sigma) \\
& + K(t_1 + \tau + s) \overline{K(t_2 + s)} \overline{K(t_2 + \tau_1 + \sigma)} K(t_1 + \sigma)] \\
& = \left| \int_{-\infty}^{\infty} |q(\omega)|^2 \frac{\text{sen } 2\pi B(\omega - u)}{\pi(\omega - u)} d\omega \right|^2 \\
& + \int_{-\infty}^{\infty} |q(\omega_1)|^2 d\omega_1 \int_{-\infty}^{\infty} |q(\omega_2)|^2 d\omega_2 \\
& \times \left[\frac{\text{sen } 2\pi B(\omega_1 - u)}{\pi(\omega_1 - u)} \right]^2 \frac{\text{sen}^2 A\pi(\omega_1 - \omega_2)}{\pi^2 A^2(\omega_1 - \omega_2)^2} \\
& + \int_{-\infty}^{\infty} |q(\omega_1)|^2 d\omega_1 \int_{-\infty}^{\infty} |q(\omega_2)|^2 d\omega_2 \\
& \times \frac{\text{sen } 2\pi B(\omega_1 + u)}{\pi(\omega_1 + u)} \frac{\text{sen } 2\pi B(\omega_2 - u)}{\pi(\omega_2 - u)} \frac{\text{sen}^2 A\pi(\omega_1 - \omega_2)}{\pi^2 A^2(\omega_1 - \omega_2)^2}
\end{aligned}$$

Fig 5. Ejemplo de ecuación no lineal (Wiener, 1985).

Efectivamente, para comprender el problema de los tres cuerpos se hacía necesario un nuevo modo de afrontar la geometría, de generar nuevas formas que puedan servir de modelos para describir un problema. Así nacería la topología que está en estrecha relación con la futura geometría fractal de Mandelbrot, puesto que los fractales se generan a partir de dimensiones topológicas. Es curioso comprobar cómo durante el siglo XIX, fueron apareciendo unas formas en las matemáticas que desafiaban a las formas clásicas, como la curva de Peano, el conjunto de Cantor o el movimiento browniano (fig 6), que coinciden con una crisis de las matemáticas que se desarrolla entre 1875 y 1925 (Mandelbrot, 2003: 31). Figuras que después Mandelbrot admitiría como fractales, dado que guardan muchas de las características de estos, tales como la autosimilitud y la invariancia a cualquier escala o la longitud infinita. Más revelador es aún que a estas formas los matemáticos de la época las denominaran como "galerías de monstruos" (Escohotado, 1999; Briggs y Peat, 2005; Stewart, 1991), dándoles un sentido patológico, alejado del concepto de normalidad que se fraguó en el siglo XIX.

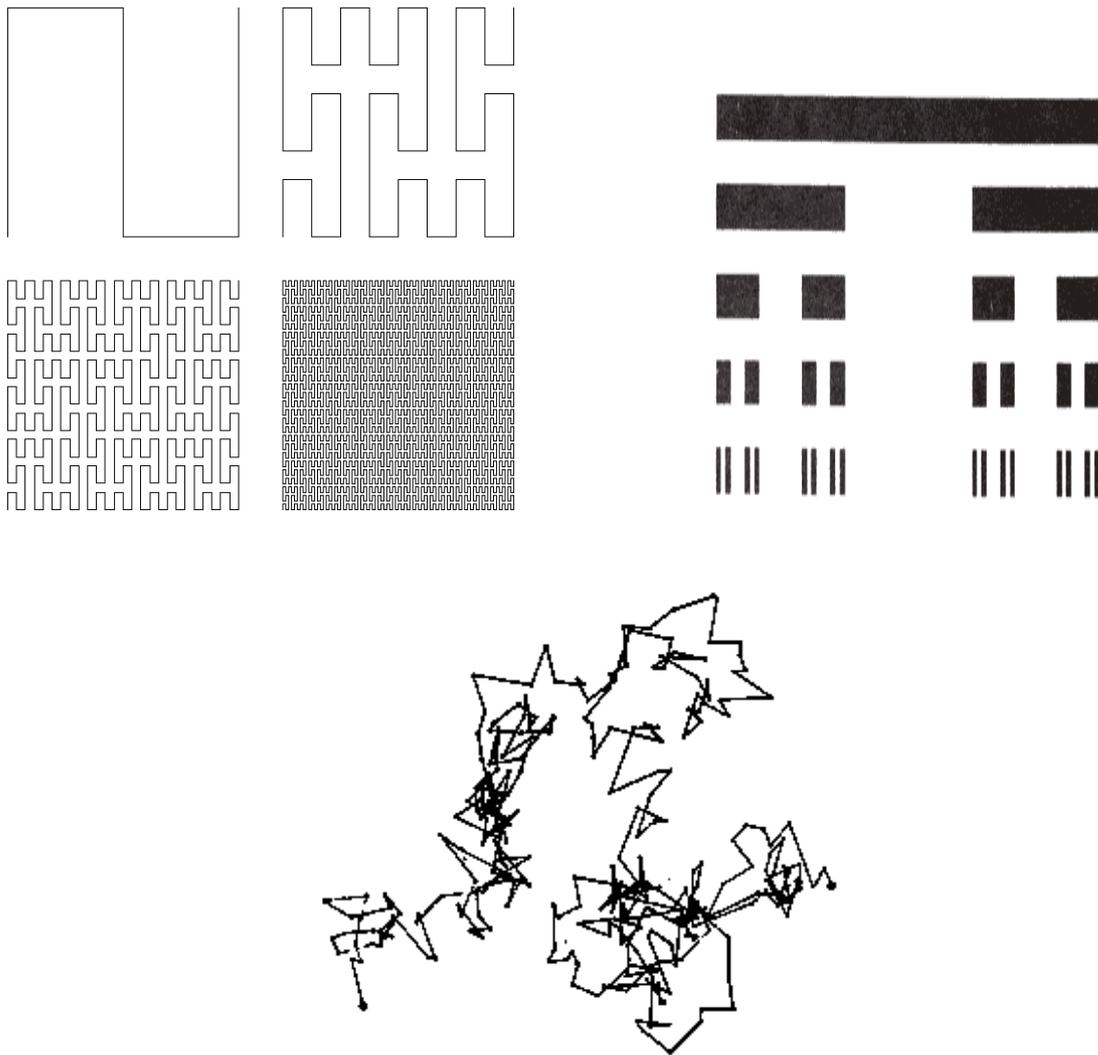


Fig 6. Formas "monstruosas" que fueron aparecieron entre finales del siglo XIX y principios del XX. Curva de Peano (arriba-izquierda), conjunto de Cantor (arriba-derecha) y movimiento browniano (abajo-centro), (Wikipedia).

La topología que ideó Poincaré, puede definirse como "una matemática presidida por metáforas visuales, que viene a ser una geometría elástica, trazada como sobre folios de goma" (Escohotado, 1999: 71); o bien como "una geometría en la que longitudes, ángulos, áreas y formas son infinitamente cambiables. Un cuadrado puede deformarse continuamente en un círculo, un círculo en un triángulo, un triángulo en un paralelogramo" (Stewart, 1991: 68), podemos observar esto gráficamente en la fig 7. La topología se encargaría de estudiar la tendencia en la ocupación del espacio; etimológicamente hace referencia al estudio del lugar, del espacio; matemáticamente se encarga de estudiar los espacios topológicos y las funciones continuas. Un ejemplo de la utilidad de la topología en la actualidad lo podemos observar en los planos de metro, tren o similares; no son geoméricamente exactos, no hay escala real con la realidad, ni las distancias entre

estaciones son las reales, no obstante, se presentan como de mucha utilidad. La topología nos habla de transformaciones continuas y de expansión, de un orden caótico, tal vez reflejo de una época en la que en el mundo se estaban produciendo tal cantidad de cambios (sociales, culturales, políticos, materiales...) y tal instauración de la red colonial occidental en tanto poco tiempo, que hubieron de inventarse nuevas formas que definieran gráficamente una situación tan compleja. Puede ser que la excentricidad de todas estas figuras que aparecen en el siglo XIX en las matemáticas, estén relacionadas con la convulsión emocional que se experimentaba tras la ruptura con el mundo del antiguo régimen y la llegada, instauración y expansión del capitalismo a gran escala; se trata, tan sólo, de un postulado.

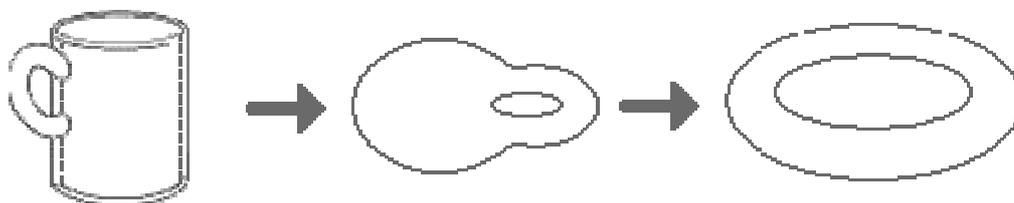


Fig 7. Un cuadrado es lo mismo que un círculo, y una taza lo mismo que un aro, todo depende de las transformaciones a las que se vea sometido (Wikipedia).

Poincaré, no se limitó sólo a hacer ciencia, sino también a idear nuevas formas de diálogo con la naturaleza, que un contexto como el que estaba viviendo se merecía, pero fue también crítico con lo que creía que era toda una muestra de pseudociencia, como en el *caso Dreyfus* –ejemplo sintomático de un antisemitismo provocado en parte por el intento de generalizar a los seres humanos las leyes newtonianas- cuando atacó los espurios argumentos científicos de algunas de las evidencias presentadas contra Albert Dreyfus¹⁴. Pero además, era un hombre de su tiempo, que confiaba mucho en las teorías del inconsciente de Freud. La organización mental de Poincaré interesó a un psicólogo del Laboratorio de Psicología de la Escuela de Altos Estudios en París, Toulouse, quien escribió un libro en 1910 dedicado a su persona. En el mismo, se decían cosas tan interesantes como que Poincaré nunca le dedicaba demasiado tiempo a un problema, porque pensaba que mientras él no lo hacía, lo hacía su inconsciente, y mientras tanto él podía dedicarse a otra cosa¹⁵. Esto concuerda con las intuiciones que el mismo Poincaré tenía acerca del proceso creativo, algo que reveló en una conferencia en la Sociedad de Psicología de París, describiendo el proceso que lo llevó a resolver el

¹⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Henri_Poincar%C3%A9

¹⁵ Ídem.

problema que le representaban cierto tipo de funciones matemáticas, las funciones fuchsianas. Tras exponer a su público que llevaba dos semanas intentando resolver el problema en balde, dijo que, de repente, una noche todo cambió: “contra mi costumbre, bebí café negro y no pude dormirme. Esa noche las ideas surgieron tumultuosamente; las sentí chocar hasta que algunos pares se engancharon, por así decirlo, formando una combinación estable” (Briggs y Peat, 2005: 191-192); Henri Poincaré vio cómo de una masa amorfa y caótica de ideas surgió un orden que le permitió resolver el problema: comenzaba a tomar forma la teoría del caos y la complejidad.

Con esto, cerramos el capítulo del siglo XIX en la vida del caos. Pero antes, me gustaría presentar la idea que el filósofo, lógico y científico norteamericano del siglo XIX y primeros momentos del XX, Charles Sanders Peirce, considerado padre de la semiótica moderna y que definió al determinismo como la *doctrina de la necesidad*, tenía del mismo. Peirce “negaba el determinismo” y “también dudaba de que el mundo fuera algo dado y determinado”, ya que “su negación de la doctrina de la necesidad fue un incidente en una vida penetrada por las estadísticas y las probabilidades. Alguien tenía que dar un primer paso hacia el indeterminismo” (Hacking, 2006: 288). Por cosa de espacio no podemos descender más a conocer a esta atractiva figura filosófica, valga quedarnos con lo que nos cuenta Hacking acerca de él (ibidem: 285-306) y con algunas palabras suyas¹⁶, para cerrar la etapa en la biografía del caos que precedió a dos guerras mundiales y a una de las mayores barbaries en la historia de la Humanidad nacida en el seno del mundo occidental, Europa:

“Peirce no podía tomar seriamente a ningún determinista. ¿No podía ese determinista abrir los ojos o algún otro sentido y comprender? En suma, Peirce hacía notar que la necesidad no es una doctrina universal y ni siquiera la única en la tradición europea pues tuvimos a Epicuro (y a Lucrecio) que habló del *azar espontáneo*. La observación no puede establecer una *causalidad mecánica*. Podemos observar sólo *que hay cierta regularidad en la naturaleza* (...) La verdad tiene que ver con el modo de ser del mundo y el método es lo que hacemos. De manera que hay una cuestión fundamental relativa al método: *¿hay algún método bueno?* Esto significa: ¿nos lleva efectivamente el método a establecer el modo de ser del mundo? La respuesta de Peirce nos parece extraordinaria a nosotros, pero no a sus contemporáneos. En su época muchos daban por descontado un notable y necesario paralelo entre la evolución del espíritu y la materia. El idealismo

¹⁶ La cursiva corresponde a las propias palabras de Peirce, que expuso estas ideas en su artículo “Evolutionary love” publicado en *The Monist*, 3, (1893). La información al respecto viene recogida en la obra de Ian Hacking, donde el último capítulo está dedicado en exclusiva a la figura de Peirce.

de una clase que nosotros hace ya mucho tiempo que hemos olvidado estaba muy difundido. *La materia es espíritu gastado*¹⁷, es una expresión que resulta más chocante en 1989 que en 1898 (...) Nuestra capacidad de movernos en abstracciones es un producto de la evolución, pero en el mejor de los casos tiene un valor indiferente en lo tocante a nuestra supervivencia. Deberíamos concebir nuestras facultades mentales evolucionando paralelamente con la evolución de las leyes del universo. Podemos descubrir éstas porque ellas y nuestros espíritus han evolucionado de la misma manera. Peirce llamaba *amor evolutivo* este hecho”.



Fig 8. C. S. Peirce, 1839-1914 (Wikipedia).

-El siglo XX (1): de camino a la barbarie

El *amor evolutivo* del que hablaba Peirce siguió su camino durante el siglo XX, y al finalizar éste ya había conseguido instaurar un nuevo modo de acercarse a la ciencia, que rompía sobremanera con el concepto clásico o moderno. Así, antes de la Segunda Guerra Mundial, ya se habían planteado dos teorías que rompían con la ciencia clásica: la teoría de la relatividad de Einstein (en cuya formulación participó también Poincaré) y la teoría o mecánica cuántica. Ambas teorías se desligaban del concepto clásico de ciencia (cómo veremos muy sucintamente en seguida), aunque sólo en parte, ya que Einstein seguía negando la *flecha del tiempo*, la distinción esencial entre pasado, presente y futuro, puesto que las ecuaciones newtonianas, utilizadas por Einstein, son también reversibles (Prigogine, 1997; Prigogine, 1999; Prigogine y Stengers, 2004). Quizás esta negación esté relacionada con la incapacidad congénita de la ciencia clásica o reduccionista de aceptar que el contexto cultural y social en el que se propugnan las teorías científicas, ejerce una gran influencia en la formulación de las mismas, puesto que “las pretensiones de la ciencia” están “ligadas a uno de sus estados histórica e intelectualmente circunscrito” (Prigogine y Stengers, 2004: 304). Veamos brevemente estas dos teorías aunque, por razones de espacio, haya de ser sólo de pasada.

¹⁷ Esta frase no corresponde a C. S. Peirce, sino a Benjamín Osgood Peirce, quién mantenía una opinión similar a la de su hermano.

La teoría de la relatividad de Einstein, llevó a ver que las ecuaciones necesarias para resolver un problema no tienen una única solución, lo que contradecía los postulados modernos newtonianos, sin embargo:

“él dio los primeros golpes a la concepción clásica del mundo, aun cuando su proyecto no dejó nunca de ser el regreso de una descripción universal, completa y determinista del mundo físico. Lo que provocó el drama de Einstein es esta distancia no dominable entre las intenciones individuales de los actores (científicos, *n. del autor*) y la significación efectiva que el contexto global presta a sus acciones” (ibidem: 318).

En efecto, Einstein instauró una teoría que seguía aspirando a controlar las últimas y más simples de las razones de la existencia del universo, en un mundo que se encaminaba hacia una segunda conflagración mundial, con unas consecuencias para la Humanidad mucho más desastrosas que cualquier guerra anterior. Einstein dio un vuelco al papel del observador, concibiéndolo como un *ser físico* (ibidem: 250):

“se definía descripción objetiva como la ausencia de cualquier referencia a su autor (...) para visualizar más claramente las consecuencias de que la velocidad de la luz sea una constante universal, Einstein se imaginó a sí mismo montado en un fotón” (ibidem: 250-251).

Einstein, fue uno de los primeros científicos en valorar nuestra posición como observadores reales, que existen independientemente del fenómeno estudiado, pero esto no se traducía para él en una subjetividad, “resultado de nuestras preferencias y convicciones”, sino que se trataba de “una física sujeta a limitaciones intrínsecas que nos identifican como parte del mundo físico que describimos” (ibidem): Einstein seguía creyendo que existía una razón última y suprema que es ulterior al ser humano. Se entregaba a esa verdad inmaculada, quizás como fruto de la época profundamente triste y convulsa que le había tocado vivir, dado que:

“poseía una concepción profundamente pesimista de la vida humana. Vivía en una época trágica de la historia, la del fascismo, el antisemitismo y las dos guerras mundiales. Su visión de la física, triunfo último de la razón humana, reforzó en el siglo XX la oposición entre el conocimiento objetivo y el ámbito de lo incierto y subjetivo” (Prigogine, 1997).

Es por ello que la teoría de la relatividad de Einstein se desmarcaba de la ciencia mecánica. Pero en otros aspectos seguía mostrándose tan clásica como aquélla, como en su negación del azar, el caos y/o la aleatoriedad, y en su afirmación de que pasado, presente y futuro eran lo mismo, es decir, no cuestionaba la simetría temporal y renegaba acerca de la *flecha del tiempo*. Este último aspecto lo encontramos en un suceso trágico, la muerte del amigo más íntimo del propio Einstein, Michele Besso. Besso era científico de carrera, pero al final de su vida comenzó a sentirse atraído, cada vez con más fuerza, por la filosofía, la literatura y “todo aquello que teje el significado de la existencia humana. No cesó entonces de preguntar a Einstein (a través de su relación epistolar, *n. del autor*): *¿Qué es la irreversibilidad? ¿Cuál es su relación con las leyes de la física?*” y Einstein le contestó: “la irreversibilidad no es más que una ilusión suscitada por condiciones iniciales improbables” (Prigogine y Stengers, 2004: 303).

En cierto modo, Einstein estaba intuyendo en la irreversibilidad una de las características más difundidas de la teoría del caos y la complejidad y de los sistemas caóticos: la hipersensibilidad a las condiciones iniciales. Cuando su gran amigo murió en 1955, Einstein reflejó el pesimismo que sentía hacia un mundo en el cual él se había visto obligado a marcharse de su país (debido a una aberración facultativa del ser humano: el racismo institucional que imperó en la Alemania del III Reich); en el cual los Estados Unidos habían lanzado la bomba atómica por primera (y última, esperemos) vez; en el cual, se habían conformado regímenes totalitarios de los más diversos colores; en el cual, en suma, el ser humano se sentía cada vez más solo, cada vez más abandonado a su suerte. Este grandísimo científico, escribió a su amigo fallecido:

“Michelle me ha precedido de poco para irse de este mundo extraño. Eso no tiene importancia. Para nosotros, físicos convencidos, la diferencia entre pasado, presente y futuro no es más que una ilusión, aunque sea tenaz”¹⁸.

Incluso Einstein, mediante la ciencia, trataba de escapar a un mundo incomprensiblemente antihumano, donde la vida se acaba naturalmente, pero también se destruye artificialmente. De modo que Einstein negaba que hubiera diferencia alguna entre pasado, presente y futuro, algo que por sí sólo exaspera a cualquier persona que haya cursado estudios de historia o de arqueología, pero también a Ylia Prigogine, para quién la *flecha del tiempo* es una necesidad

¹⁸ *Correspondance Albert Einstein-Michele Besso, 1903-1955*, 1972, Hermann, París; citado por Prigogine y Stengers, 2004: 303.

imperiosa en la ciencia, da igual si ésta es exacta, natural o social (Prigogine, 1997; Prigogine, 1999; Prigogine y Stengers, 2004).

En nuestra disciplina, recientes investigaciones (Hernando, 2002), han puesto de relieve que cada época, prehistórica o histórica, mantiene una determinada manera de percibir las relaciones entre el ser humano y la cultura material, teniendo todas ellas una identidad distinta; esto, no deja de ser otra apología de la *flecha del tiempo*, de la diferencia radical que estriba entre pasado, presente y futuro. La negación de Albert Einstein del caos y el azar, nos va a ayudar a trasladar la argumentación, brevemente, a la otra teoría que junto al caos y la relatividad conforman los tres grandes descubrimientos científico-teóricos del siglo XX: la mecánica cuántica.

Sin querer descender a los entresijos de la teoría cuántica, valga decir que la mecánica cuántica (uno de sus temas) se encarga de estudiar las partículas estructurales de la materia y su comportamiento a escala subatómica, es decir de la conducta de los protones, neutrones y de las partículas, todavía más elementales, que conforman aquéllos, los *quarks*. Si la teoría de la relatividad asentó la idea de un observador científico como un ser físico, de existencia real, la teoría cuántica hizo lo propio con las ideas de incertidumbre y azar, puesto que todos los componentes a escala subatómica se comportan de manera caótica, moviéndose continuamente de un lado para otro de manera incontrolable, experimentando la energía continuos saltos¹⁹. El descubrimiento de la mecánica cuántica se debe a investigadores como Max Planck, Neils Bohr o Werner Heisenberg, y gracias a ella se lograron triunfos hasta entonces insospechados para explicar todo el mundo microscópico.

La introducción de las ideas de caos y azar en la ciencia contemporánea se deben, en parte, a Heisenberg, quien en 1925 enunció el principio de Incertidumbre (cfr. Giribet, 2005), el cual venía a decir, que ciertas variables de las partículas de la materia no se podían medir simultáneamente, ya que en el momento que tratas de medir un neutrón, por ejemplo, éste comienza a moverse alocadamente, como si se tratara del juego del gato y el ratón; se trata de un problema de medida que implica irreversibilidad: "el fenómeno cuántico supone irreversibilidad" (Prigogine y Stengers, 2004: 264). Así, es Heisenberg quien intuye e introduce los comportamientos caóticos, estocásticos e irreversibles en la ciencia, pese a que Einstein se burle del "huevo cuántico" que ha puesto el físico alemán (Escohotado, 1999: 46). En el mismo sentido, se entienden las palabras de Einstein a Neils Bohr,

¹⁹ A esta intranquilidad de la energía, provocada por el continuo movimiento de sus componentes estructurales, se le denomina *cuanto*, de ahí el nombre de mecánica cuántica, dado que se encarga de estudiar toda esa serie de saltos o cuantos, provocados por el movimiento caótico de protones, neutrones y quarks, que se producen en la energía.

otro de los padres de la mecánica cuántica²⁰, cuando le comentó “usted cree en un Dios que juega a los dados, y yo en una ley y un orden completos”. Ni siquiera Einstein se podía librar de la presencia conceptual del monarca absoluto newtoniano, pese a que se vivían tiempos que nada tenían que ver con el orden, sino más bien con el caos, con ejemplos como el ascenso del fascismo, la revolución rusa o la II Guerra Mundial; es esa incertidumbre que no captó Einstein la que sí percibió, seguramente de manera inconsciente, Heisenberg. Esa incertidumbre es la misma que sentía la población mundial ante el caos que se avecinaba.



Fig 9. Werner Heisenberg, 1901-1976 (Wikipedia).

Entre el 6 y el 8 de agosto de 1945, los Estados Unidos de América atacaban las poblaciones japonesas de Hiroshima y Nagasaki con sendas bombas atómicas; en Hiroshima, murieron 92.233 personas instantáneamente, 37.425 lo harían en los meses y años posteriores; en Nagasaki las cifras son de 23.753 personas muertas al instante y 43.000 posteriormente. Tras lanzar la primera bomba en Hiroshima y ver la explosión nuclear, el artillero de cola del Enola Gay exclamó: *¡Dios mío! ¿Qué hemos hecho?*²¹. ¡Cumplir órdenes!, tan sólo, cumplir órdenes...

El 2 de septiembre de 1945, Japón se rendía ante Estados Unidos: la II Guerra Mundial había terminado. Einstein siempre mostró arrepentimiento por haber contribuido mediante sus investigaciones al descubrimiento de la bomba atómica; Heisenberg parece que colaboró en el proyecto nazi para construir un arma similar²². Aunque el breve e instantáneo genocidio nuclear sucediera en Asia, en Europa los muertos no brillaban por su ausencia, ya que los matarifes del poder

²⁰ Pese a que fue Heisenberg quien se llevó el premio Nobel de Física en 1932 por la creación de la mecánica cuántica, fue alumno tanto de Max Born como de Neils Bohr, dos de los grandes investigadores de la teoría de los cuantos. La mecánica cuántica, es una parte de la teoría cuántica que se encarga de estudiar los mecanismos de las partículas estructurales. La teoría cuántica en general, se encarga de estudiar el mundo subatómico en toda su totalidad.

²¹ Enciclopedia *La II Guerra Mundial* editada por Prensa Española S. A. y ABC en colaboración con Europa Press reportajes, 1989, Madrid, pp 1474-1488.

²² http://es.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg

habían hecho también su trabajo: América testeaba un nuevo producto bélico en Asia mientras en Europa se asistía a la mayor carnicería en la historia de la Humanidad; se conectaban los continentes, ya que la guerra se libró también en África, quizás evidencia de una globalización creciente y expansiva. El total de muertos en el conflicto asciende a 71 millones de personas según las estimaciones más funestas²³; la duda de si fueron más o menos sólo ha de quedar para los revisionistas más morbosos; me da igual si la cifra es mayor o menor, lo que me interesa es que fueron muchos y de todos los sexos y edades. ¿Era la ciencia ajena a todo esto?, ¿podía seguir dando la espalda al contexto cultural en el que se expresaba? Por simple humanidad deberíamos contestar que no.

-El siglo XX (2): la vuelta del niño travieso

Durante la segunda mitad del siglo XX iba a culminar el nacimiento de la nueva ciencia contemporánea, que rompía definitivamente con la ciencia clásica y newtoniana, pero también con la relatividad de Einstein, y en parte también con la mecánica cuántica. Además, poco a poco, el *amor evolutivo* del que nos hablaba Peirce se dibujaba con mayor facilidad, y cada día era más evidente para los científicos que se hacía necesaria una nueva forma de dialogar con la naturaleza, más coherente ,intelectualmente, con los nuevos tiempos que se estaban imponiendo. También era necesario, después de la debacle moral de la II Guerra Mundial, hacer una reflexión sobre el papel de la ciencia en el devenir de la Humanidad.

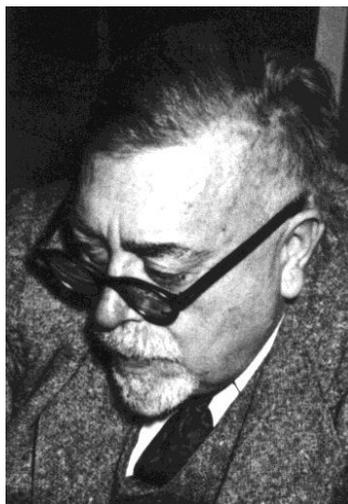


Fig 10. Norbert Wiener, 1894-1964 (Wikipedia).

²³ <http://www.exordio.com/1939-1945/codex/Documentos/stats.html> , web en la que se ofrecen cantidad de estadísticas sobre la II Guerra Mundial.

Uno de los primeros en hacerlo fue Norbert Wiener, considerado como el padre de la *cibernética*, disciplina que intenta conocer los paralelismos que existen entre ciertos comportamientos de las máquinas y los de los animales, constituyendo estos últimos un reino al que el ser humano también pertenece; esta *cibernética*, así como el caos, no dejan de ser una parte de la teoría general de sistemas²⁴, metateoría que tiende a buscar paralelismos y fenómenos que se manifiesten tanto en lo orgánico como lo inorgánico. Wiener no habla de caos exactamente. Más bien sus investigaciones se basan en el estudio de sistemas autoorganizados y autonómicos, donde la realimentación *-feedback-* cobra vital importancia. Su papel está más en relación con la búsqueda de la complejidad, pero también habla de procesos no lineales y utiliza ecuaciones no lineales, y no ofrece una imagen del científico clásico, obsesionado con las predicciones y las certidumbres. No obstante, una de las intenciones que también tiene presentar a Norbert Wiener, es la de destruir la idea, muy asentada entre los arqueólogos posprocesuales (o al menos lo estuvo durante mucho tiempo), de que la teoría de sistemas es sinónimo de capitalismo, una especie de bastión suyo; aunque también tuvieron algo que ver las ganas de los procesuales de extraerse del mundo en el que vivían, y de intentar hacer ver que su trabajo y sus postulados eran ajenos al mismo, algo que nos recuerda la actitud de la ciencia clásica. No obstante, este será un tema que trataremos en exclusiva en la segunda parte del trabajo. Pero además, Norbert Wiener, reflexiona moralmente sobre la sociedad de su época y sobre el capitalismo y la información, y el papel que la ciencia juega o ha de jugar en todo esto. Para el enfoque que se está utilizando a lo largo del trabajo, su figura resulta de vital importancia.

La vida académica de Norbert Wiener comenzó antes de lo normal; con once años se matriculó en la Universidad de Tufts de Massachussets, y con dieciocho ya se había doctorado por Harvard²⁵ en matemáticas. Durante la II Guerra Mundial trabajó con la defensa antiaérea de los Estados Unidos, aunque después, se convertiría en "un sabio antimilitarista y libertario" (Escohotado, 1999: 335), algo que en Estados Unidos puede marcar sobremanera a una persona, sobre todo después de la II Guerra Mundial y el inicio de la Guerra Fría. Dejemos para después las vicisitudes ideológicas de Wiener, y veamos cuales fueron las novedades que introdujo en la ciencia.

²⁴ La teoría de sistemas no es una teoría en sí, sino más bien una metateoría, una teoría de teorías, que intenta estudiar y establecer paralelismos entre el mundo orgánico y el inorgánico. El caos, las catástrofes, la *cibernética*...éstas y otras teorías conforman todas ellas la teoría de sistemas, que intenta comprender la complejidad de la naturaleza y del mundo en el que vivimos, estudiando propiedades comunes en distintos ámbitos y a través de diferentes disciplinas. Fue propuesta por el biólogo Ludwig von Bertalanffy en 1950, aunque en realidad era algo que se intuía en la ciencia, pues Wiener publicó su obra principal en 1948.

²⁵ http://www.dma.eui.upm.es/historia_informatica/Doc/Personajes/NorbertWiener.htm
<http://www.kindsein.com/es/7/infancias/214/>

Como se ha dicho más arriba, es considerado el padre de la cibernética, una rama de las matemáticas que se encarga de estudiar las analogías que existen entre los sistemas de control y comunicación de los seres vivos y las máquinas; su obra, *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*, publicado por primera vez en 1945, es un clásico de la ciencia, y además una gran reflexión moral sobre la sociedad occidental y capitalista, y de cómo la ciencia debería distanciarse de ella en un sentido intelectual y conceptual. Así, Wiener rompe sobremanera con la actitud de la ciencia clásica respecto al devenir del mundo, ya que ésta había considerado hasta entonces que su labor y sus conclusiones eran exógenas al mundo y la sociedad que les rodeaba. Volviendo a la cibernética, Wiener busca similitudes en los mecanismos de transmisión de información entre los animales y las máquinas, esto es, quiebra el límite entre lo orgánico y lo inorgánico, algo que caracteriza al caos, y lo hace con un concepto hasta entonces poco conocido: la autoorganización.

Ciertos sistemas muestran esta capacidad, tanto las máquinas como los animales lo hacen; una capacidad que está en estrecha relación con la realimentación o retroalimentación (*feedback* en inglés). Esto es algo que a la arqueología le suena mucho, debido a la introducción del concepto en nuestra disciplina que llevó a cabo la nueva arqueología comandada por Binford. La retroalimentación nos habla de un todo interconectado, donde las variaciones en una de sus partes repercuten en las demás, mediante las realimentaciones sucesivas que se producen; de modo que si una sociedad se queda sin agua en el nicho ecológico, esto repercutirá en su organización política, por ejemplo. Sin embargo, pese a que el feedback tenga mucha importancia en la teoría del caos, la idea que se llevó la nueva arqueología fue muy limitada, ya que la siguió concibiendo como algo lineal, reduciéndolo a relaciones duales y regulares de causa-efecto. Esto será tratado más adelante, pero se hace conveniente ir quedándose con la idea de que la relación causa-efecto bajo los postulados de la teoría del caos se disipa, no se confunde, como se suele decir. Wiener no era lineal, como él mismo reconoce, todas sus investigaciones tratan con procesos que "no son fenómenos en absoluto lineales" (Wiener, 1985: 45), y además trabajaba con ecuaciones no lineales, que como hemos visto antes rompían con las ecuaciones newtonianas. Una de sus observaciones, nos ayudará a comprender mejor el trabajo de Norbert Wiener. Wiener, observó a dos pacientes neurológicos, cada uno de los cuales padecía una modalidad distinta de una enfermedad conocida como *ataxia*²⁶.

²⁶ La ataxia es una enfermedad caracterizada por provocar la descoordinación en los movimientos voluntarios. Esto puede afectar tanto a extremidades como a la cabeza o al habla.

El primero de ellos sufría la modalidad de *tabes dorsalis*, una lesión en la médula espinal, que le impedía caminar correctamente pese a que no sufría ningún tipo de parálisis y era totalmente capaz de mover las piernas; lo más chocante es que si se le vendaban los ojos se desplomaba y no podía mantenerse en pie. La lesión del segundo paciente se localizaba en el cerebelo, y recibía el nombre de *temblor cerebeloso*; es totalmente normal en sus movimientos y parece que no sufre de nada. Sin embargo, al ofrecerle algo para que lo cogiera se mostraba incapaz de hacerlo, pasándose de largo e intentando a través de balanceos sucesivos volver a agarrarlo; si se le daba un vaso de agua, era incapaz de llevárselo a la boca sin derramarlo antes. Ambos tenían un problema de merma en los mensajes de información de entrada (ibidem: 135). Mientras al primero le fallaban los receptores de las articulaciones, tendones y músculos de las plantas de los pies, el segundo se veía privado de la función reguladora que el cerebelo desempeña en la respuesta muscular al impulso. Lo que vio Wiener es que "para actuar con eficacia sobre el mundo externo, no sólo es necesario disponer de buenos efectores, sino que la acción de éstos debe ser debidamente encauzada al sistema nervioso central" (ibidem: 134). Algo "muy similar" observó en los sistemas mecánicos:

"supongamos un mástil de señales ferroviarias. El operario manipula una serie de palancas que conectan o desconectan las señales semafóricas y que regulan la disposición de los conmutadores. Sin embargo, no se conforma con suponer a ciegas que las señales y los conmutadores han seguido sus órdenes. Los conmutadores pueden haberse agarrotado por efecto del hielo (...), y el estado en que él supone se encuentran los conmutadores y las señales (...) no coincide con las órdenes cursadas. Para evitar los riesgos de tal contingencia, cada efector, conmutador o señal, está conectado a un chivato en la torre de señales que indica al operario la respuesta real al sistema" (ibidem).

Se hace necesaria una cadena de realimentación, precisamente de la que, por desgracia, carecían los pacientes. Una realimentación que puede ser voluntaria (rascarse, coger un boli, chutar un balón...) o postural (reflejo de deambulación). Así, la cibernética pretende "desentrañar y localizar con exactitud las distintas partes de ese complejo de servomecanismos voluntarios y posturales" (ibidem: 149) ya que "se observan retroalimentaciones de este tipo general en los reflejos humanos y animales" (ibidem: 155). La realimentación nos habla de autoorganización, de cierto grado de autonomía: Norbert Wiener era judío, y acababa de contemplar como terminaba una segunda guerra mundial que había diezmado a la población hebrea europea por acción de un sistema totalitario; era

testigo, también, de otro sistema totalitario, la Unión Soviética. Da la sensación de que estaba un poco cansado de la ley y el orden jerárquicos, newtonianos y aristotélicos. El *amor evolutivo* de Peirce seguía avanzando. Nuestro cerebro poseía cierto grado de independencia y, en cierto modo, de inconsciencia; se autoorganizaba. Como él mismo reconocía, "la técnica que abrió nuevas perspectivas fue la electrónica" (ibidem: 234). También nos cuenta por qué eligieron el nombre de cibernética (que en griego significa timonel) dado que querían reflejar "una de las primeras y mejor desarrolladas modalidades de servomecanismo" (ibidem: 35). El concepto de servomecanismo es interesante para los arqueólogos, pues nos habla sobre la aparición de esa específica relación que cada época y los seres humanos que la disfrutaban mantienen con la cultura material del momento (Hernando, 2002). Así, va asentándose una manera de relacionarnos con la cultura material que hace a ésta una esclava nuestra, una sierva; esto, es más fácil de comprender en la actualidad, a través de la informática y los ordenadores personales, la cultura material contemporánea por excelencia. Imaginemos que sucedería si de pronto todos los ordenadores del mundo o dispositivos informáticos dejasen de funcionar: sería una debacle. Sí, en la actualidad las máquinas son nuestras esclavas, pero nosotros no dejamos de tener una relación de interdependencia con ellas; hay en todo ello cierto grado de masoquismo involuntario: un juego peligroso entre el orden que nos ofrecen las máquinas y el caos que sufriríamos sin ellas. Las investigaciones de Wiener desembocaron en los descubrimientos informáticos de la segunda mitad del siglo XX, y también grandes avances en cuanto a prótesis y otros objetos similares se refiere.

Pero como se ha dicho, Wiener no se dedicó sólo a hacer ciencia, también reflexionó sobre un mundo que acababa de salir de su segunda guerra mundial y donde la ciencia había hecho posible la conquista del *serial killer* atómico. Sus reflexiones sobre el capitalismo y la sociedad de masas son realmente muy agudas, y también su valoración del poder, acercándose a posiciones libertarias. Ya había vivido mucha falta de libertad y había contemplado cabizbajo como la gente se dedicaba a sacarse los ojos en aras de un estado u otro: no necesitaba más. El capitalismo no es un sistema en equilibrio:

"existe la creencia, común en muchos países – que en los Estados Unidos ha adquirido rango de fe- de que la libre competencia es en sí un proceso homeostático (...) esto va asociado a la reconfortante opinión de que el empresario privado es en cierto modo una especie de benefactor público (...) el mercado es un juego cuyo simulacro está efectivamente representado en el juego del *monopolio* (...) es el juego del mercado jugado entre operadores

perfectamente inteligentes, perfectamente despiadados (...) Estas coaliciones generalmente no se establecen de una forma simple y concreta y suelen desembocar en una serie de traiciones, chaqueteos y engaños, lo que es realmente una imagen perfectamente verídica de la vida en las altas esferas capitalistas, o de las estrechamente vinculadas esferas políticas, diplomáticas y militares (...) romper el acuerdo y engañar a sus asociados. No hay ninguna homeostasis. Nos encontramos arrastrados por los ciclos económicos del auge y la bancarrota, por esa alternancia de dictadura y revolución, por las guerras que todos perdemos, característica tan propia de los tiempos modernos" (Wiener, 1985: 209).

La idea de que la teoría de sistemas es un baluarte del capitalismo parece más bien errónea. Si bien es un reflejo del contexto cultural en el que nació, la cibernética (recordemos, una parte de la teoría de sistemas) no comulga con el capitalismo, ni tampoco Wiener, quien sigue reflexionando sobre esto y sobre el papel de la ciencia en ello:

"esta política de mentiras (...) le hacen a uno comprar una determinada marca de cigarrillos, a votar por un candidato o a unirse a una caza de brujas política. Una cierta mezcla de religión, pornografía y pseudocientifismo sirve para vender una revista ilustrada. Cierta mezcla de engatusamiento, soborno e intimidación inducen a un joven científico a trabajar en los misiles dirigidos o en la bomba atómica (...) además, siempre están los estadísticos, sociólogos y economistas que venden sus servicios para estos menesteres" (Wiener, 1985: 210).

Los medios de comunicación no salen bien parados, pues "la radio (también la prensa escrita o las cadenas televisivas, *n. del autor*) depende económicamente de sus anunciantes y, como en todas partes, quien paga manda". La conclusión es clara y ácrata: "el Estado es más estúpido que la mayoría de sus miembros" (ibidem: 212), porque deja pistas que confirman sus delitos: en forma de guerras, en forma de bombas, en forma de hambre, en forma de muertos...

Da la impresión de que la figura de Wiener cierra una etapa de la ciencia y comienza una nueva, pues es durante la segunda mitad del siglo XX cuando se producen los grandes descubrimientos de la nueva ciencia del caos: atractores extraños, geometría fractal, asimetría del tiempo, investigaciones sobre la turbulencia, bifurcaciones, coevolución...Será en los 80 cuando se reconozca su nacimiento e instauración, pero es entre finales de los 60 y los 70 cuando se llevan a cabo la mayoría de los descubrimientos, con un protagonismo especial de la

matemática, pues como hemos visto, el padre del caos moderno, Poincaré, era matemático.

Los intereses de la ciencia se dirigían cada vez más en exclusiva a los sistemas dinámicos, esto es, aquellos sistemas que evolucionan con el paso del tiempo, y cuyo estado se ve alterado a medida que éste avanza (como el capitalismo, la economía mundial o un yacimiento arqueológico, por poner algunos ejemplos), que son con los que trata la teoría del caos; en concreto con los sistemas dinámicos inestables, de los que los sistemas caóticos son el ejemplo más salvaje (Prigogine, 1997: 32). Pese a que los descubrimientos se llevaran a cabo en disciplinas tan dispares como la meteorología, la geometría, la física, la biología o la economía, todos los involucrados en el resurgimiento del caos compartían su pasión y su apego a las matemáticas. Lo más curioso es que los descubrimientos fueron también algo caóticos pues ninguno de los investigadores que propiciaron el nuevo paradigma se conocían entre ellos; cada uno llegó a conclusiones parecidas desde campos distintos, y trabajando independientemente, sin una conexión aparente. Pero las ideas de todos ellos encajaban unas con otras. Sí coincidían en algo, ya que el nuevo paradigma del caos “nace en disciplinas donde avanzar demandaba un renacimiento conceptual” (Escohotado, 1999: 80), y eso es algo que no gustaba al *mainstream* científico, un aspecto que no agrada al “gremio”, y que cuando éste “percibe su orientación” reniega hasta tal punto que “dos genios ya a primera vista –Mandelbrot y Prigogine- hallan dificultades para doctorarse, no llegan a numerarios de Universidad y sobreviven investigando para IBM y Solvay” (ibidem: 81). Durante el último tercio del siglo XX asistimos, pues, al nacimiento del caos. Un alumbramiento que no se hubiera producido sin el fósil guía de nuestro tiempo: los ordenadores.

El primer gran descubrimiento que a la larga iba desembocar en la aparición de la teoría del caos, vino de la mano de la meteorología y de un “matemático de corazón” (Stewart, 1991: 139-149), el meteorólogo norteamericano Edward Lorenz. Lorenz, se había propuesto obtener un modelo del clima terrestre con el fin de poder hacer predicciones meteorológicas a largo plazo desde su puesto en el Massachusetts Institute of Technology, pero lo que obtuvo, más allá de demostrar la absoluta certeza de las posibles predicciones, iba a instaurar la idea de que las predicciones a largo plazo son imposibles. Nuestro protagonista estudiaba lo que en física se conoce como dinámica de convección (esto es, el movimiento de un fluido al calentarse) que es el eje del clima terrestre²⁷, y trató de comprimirlo en tres ecuaciones no lineales (Lorenz, 1963); con este modelo, hacía simulaciones de

²⁷ El mar se calienta por efecto del calor del sol; el vapor sube hasta las nubes que se condensan; y estas descargan en forma de lluvia.

pronósticos. Pronto se concentró en los datos sobre temperatura, presión del aire y dirección de los vientos, y redondeó a tres decimales los seis que había utilizado en sus operaciones anteriores; creyó -ya que Lorenz se enfrentaba al problema desde un punto de vista de la ciencia clásico- que ello no tendría consecuencia alguna, pero para nuestro bien se equivocó. Entran en juego los ordenadores, es decir, la cultura material.

En época de Lorenz aún no existían los ordenadores personales, no al menos en el ámbito doméstico. Él tenía uno, pero era una exquisita excepción: el modelo de su ordenador era un Royal McBee LGP-300, "un laberinto de válvulas de vacío y cables" (Stewart, 1991: 142) que si bien no tenía el acomodado tamaño de los ordenadores personales actuales no era tan gigantesco como el ENIAC²⁸, el primer gran ordenador que se construyó y que comenzó a funcionar en 1947. Lorenz comenzó a iterar sus ecuaciones para ver los resultados que obtenía. Pronto comenzó a observar fluctuaciones violentas y caóticas en los números que eran totalmente aleatorias, y que no seguían ninguna pauta común²⁹: el pronóstico era totalmente distinto al anterior por redondear tan sólo tres decimales, demostrando el sistema una hipersensibilidad a las condiciones iniciales. Los puntos en el espacio-fase³⁰ saltaban continuamente y Lorenz, como cualquier científico de su época, pensó que se detendría (signo de estabilidad) o describiría un bucle cerrado (signo de periodicidad). Mas frente a eso, "la pantalla puso ante sus ojos el primer atractor extraño, una imagen tridimensional a medio camino entre el rostro de una lechuza y las alas de una mariposa" (Escohotado, 1999: 87). En matemáticas, un atractor es la representación gráfica de la influencia de un sistema, de su tendencia; es una idea visual de lo que hace que el sistema se comporte del modo en que lo hace³¹.

El atractor de Lorenz exhibía realmente un comportamiento extraño (fig 11), caótico, inestable e incontrolable, y mostraba una sensibilidad extrema a las condiciones iniciales (el redondeo inocente de Lorenz al principio de la simulación). Quizás porque la forma del atractor de Lorenz recordaba a tal insecto, a este aspecto de las condiciones iniciales se le acabó conociendo como *efecto mariposa*. Además, la figura mostraba un nuevo tipo de orden:

²⁸ Siglas de Electronic Numerical Integrator and Computer. El ENIAC ocupaba el espacio equivalente a un salón de clases, pesaba 30 toneladas y tenía 800 km de alambres (http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_inform%C3%A1tica#ENIAC).

²⁹ 0-10-0; 4-12-0; 9-20-0; 16-36-2; 30-66-7; 54-115-24; 93-192-74

³⁰ Representación gráfica de la evolución del tiempo y la energía de un sistema.

³¹ El atractor del péndulo ideal (sin fricción) es un círculo, mientras que el del péndulo real es un punto, ya que este tiende a estabilizar la vertical con la horizontal por efecto de la fricción del viento.

“un caos estructurante, donde cierto movimiento de complejidad infinita se mantiene vuelto sobre sí, autocontenido o de alguna manera *atraído* por una forma. Jamás se fuga de ciertas lindes, jamás se repite, ninguna línea interfecta o se superpone a la otra, y jamás alcanza un estado estable” (Escohotado, 1999: 88).

Más que un desorden, algo que se afirmaría desde un punto de vista clásico puesto que se sale de sus cánones, lo que manifestaba era un nuevo tipo de orden “muy superior en finura estructural” (ibidem). La hipersensibilidad a las condiciones iniciales mostradas por nuestro clima era tal que “el aleteo de una mariposa en Brasil puede dar lugar a un tornado en Tejas” como se preguntaba retóricamente Lorenz algunos años después en una conferencia; dicho de otro modo:

“el movimiento de una simple ala de mariposa hoy produce un diminuto cambio en el estado de la atmósfera. Después de un cierto período de tiempo, el comportamiento de la atmósfera diverge del que debería haber tenido. Así que, en un período de un mes, un tornado que habría devastado la costa de indonesia no se forma. O quizás, uno que no se iba a formar, se forma” (Stewart, 1991: 147).

Posteriormente, Lorenz declararía a la revista *Discovery*: “entonces supe que si la atmósfera real se portaba así, los pronósticos meteorológicos de largo plazo eran imposibles” (Briggs y Peat, 2005: 69); la predictabilidad, tan ansiada y deseada en la ciencia, había resultado herida, tal vez mortalmente. El modelo de Lorenz revolucionó la meteorología, pero lo que es más importante introdujo el concepto de *atractor extraño*, pese a que Lorenz nunca utilizó ese término, y durante mucho tiempo se le conoció simplemente como el atractor de Lorenz; un trabajo que paso desapercibido durante algunos años, ya que los meteorólogos (bien por no conocer las matemáticas o bien conociéndolas en su vertiente más tradicional) no supieron como utilizarlo, pues “las ecuaciones de Lorenz eran una versión tan mutilada y cortada de la física real que probablemente no tendrían ningún sentido” (Stewart, 1991: 139).

Sería en 1971 cuando dos investigadores de la turbulencia, Floris Takens (un holandés) y David Ruelle (un belga), acuñaron el término de *atractor extraño* para definir a este atractor estructuralmente estable que se salía de las pautas clásicas. El nombre en sí es “una declaración de ignorancia” pues “siempre que los matemáticos denominan una cosa como *patológica*, *anormal*, *extraña*, o algo parecido, lo que quieren decir es *no entiendo esta maldita cosa*” (ibidem: 127). No obstante, hay otro mensaje más positivo, “puede que no la entienda pero seguro

que me parece importante" (ibidem: 127). Lorenz es considerado uno de los pioneros del caos, pues descubrió el primer atractor extraño y acuñó el término de "efecto mariposa".

En 1976, un astrónomo francés del observatorio de Niza, Michael Hénon (cfr. Hénon, 1976), siguió el modelo de Lorenz y lo aplicó a los estudios astronómicos; el resultado fue otro de los atractores extraños más famosos, el mapa o atractor de Hénon, en el que si examinamos detalladamente y ampliando convenientemente con un ordenador sus anillos, observamos un parecido asombroso con la estructura de brechas y escombros de los anillos de Saturno (fig 12). La cosa empezaba a tomar forma. Hoy día se sabe que los atractores extraños están detrás de muchos de los procesos que preocupan a la humanidad, como muestra el caso de Lorenz (recordemos el debate en torno al cambio climático en la actualidad) y el de Hénon, y también de cosas más mundanas, como el goteo de un grifo. Dicho de una manera algo poética, los atractores extraños parece que se mueven entre dos mundos distintos, el del espejo y el del reflejo, el del caos y el del orden.

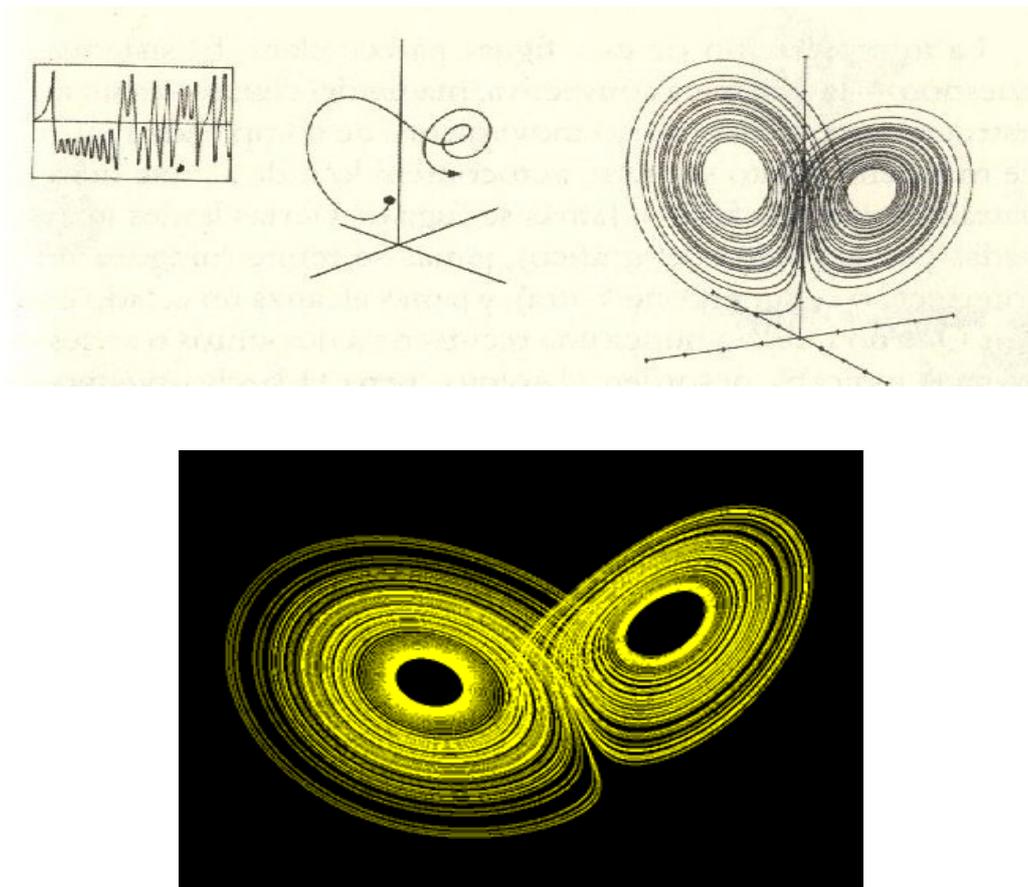


Fig 11. El primer atractor extraño, descubierto por Edward Lorenz. Arriba, le podemos ver trasladado a un plano (izquierda), llevado al espacio-fase (centro) y más desarrollado (derecha, Escohotado, 1999). Abajo podemos ver una representación más contemporánea del mismo (<http://www.metoffice.gov.uk/research/nwp/ensemble/images/lorenz.gif>).

¿Qué pasaba mientras tanto en el mundo? Durante los años 60 del siglo XX se produce lo que Eric Hobsbawm (1995: 260-289) llama *los años dorados*, produciéndose una auge del bienestar económico y material; en esa época, la España de la dictadura de Franco comenzó a abrirse al turismo. Se produjo también toda una revolución social y cultural. A la vez que al medio ambiente se le relegaba al puesto de cloaca, las economías de los países industrializados crecían. El mundo, también, se encontraba dividido en dos mitades tan dogmáticas como antagónicas, tan ilusas como tenaces... La gente comenzó a comprar, y el mundo de antes de la guerra chocaba con el de después; los niños y niñas que un día habían sufrido la guerra y la posguerra mundiales no comprendían el por qué de la actitud de rebeldía de sus hijos, a los que a sus ojos, no les faltaba de nada. Mas fue una época de profunda conflictividad social y estudiantil y de cambios culturales (mayo del 68, el rock, el pop art...); se rompían barreras y se producía una conflictividad generacional (ibidem: 290-346): parece que los avances científicos seguían manifestando su adhesión al contexto cultural e histórico en el que se expresaban. A partir de aquí, los nuevos descubrimientos se irán sucediendo uno tras otro de manera imprevisible, de manera independiente. A finales de los años 80 se reconocerá "oficialmente" el nacimiento de una nueva manera de hacer ciencia: las ciencias del caos. El siguiente paso en la concepción del nuevo paradigma lo dio Benoit Mandelbrot y su geometría fractal.

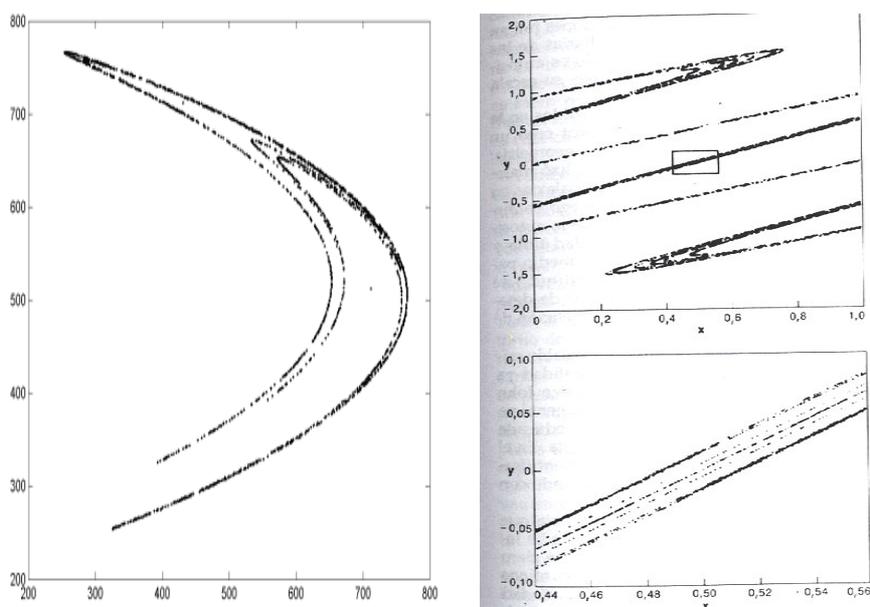


Fig 12. Atractor de Hénon

(<http://coco.ccu.uniovi.es/geofractal/capitulos/02/completas/Henon2.gif>) y ampliación del mismo (derecha, Briggs y Peat, 2005).

Galileo había dicho en 1610 que las matemáticas son el lenguaje de la naturaleza, y que sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras de la geometría clásica euclidiana (Stewart, 1991: 218). Pero la realidad es que cuando uno trata de acercarse al mundo natural y describirlo mediante esas figuras, se encuentra con que es un método poco realista. Cuadrados, círculos, rombos o triángulos, no dejan de ser formas idealizadas, que pueden servir para hacernos una vaga idea de cierto objeto, cosa o fenómeno, pero no llegan a representarlo tal y como es. Realmente, como reflejaba Jonathan Swift en *Los viajes de Gulliver*, la belleza humana (de un hombre o una mujer; aunque Swift se refería a la mujer) es difícil de representar mediante tales figuras (ibidem). Lo mismo ocurre con el mundo natural, donde lo irregular prima sobre lo regular. Benoit Mandelbrot se propuso crear una geometría más fiel al mundo natural, y lo consiguió: es conocido como el padre de los fractales, aunque ya existían figuras que él recuperaría como fractales (como los "monstruos" surgidos en el siglo XIX) y basó sus descubrimientos en investigaciones anteriores, como las de Gaston Julia. Recordando las reflexiones de un sabio inglés del siglo XVII, Richard Bentley, Mandelbrot concibió un aforismo que puede ser el que mejor defina a la nueva geometría fractal de la naturaleza: "ni las nubes son esféricas, ni las montañas cónicas, ni las costas circulares, ni la corteza es suave, ni tampoco el rayo es rectilíneo" (Mandelbrot, 2003: 15).

Así, este polaco emigrado a Francia en 1936, dio lugar a una nueva geometría que ha repercutido en una amplia gama de disciplinas del conocimiento humano tan dispares como la física, la biología, la economía, la arqueología, el trabajo social o las bellas artes. Los fractales, mezcla de caos y disipación, se han mostrado muy eficaces para tratar, desde una perspectiva geométrica, todos los fenómenos, objetos y cosas que hay en la naturaleza, incluyéndonos a nosotros mismos; guardando, además, una innegable belleza visual.

Algo sencillo y directo, sería preguntar "¿qué es un fractal?", a lo que habría que responder con otra pregunta "¿qué es un triángulo?"; los fractales son formas geométricas nuevas que rompen con la geometría clásica euclidiana, en un intento de trazar y comprender de un modo más fidedigno la complejidad estructural de la naturaleza. Un fractal sería el equivalente en la geometría de Mandelbrot a un círculo o un cuadrado en la geometría clásica, con la diferencia de que cada fractal es diferente, no sólo más grande o más pequeño. No obstante, también los fractales se parecen mucho entre sí; esta es una de las características de la nueva geometría fractal de Mandelbrot y, desde que él la definió, se le conoce como

autosimilitud o *autosemejanza*; los copos de nieve se parecen mucho entre sí, pero no hay dos que sean iguales.

Además estas nuevas formas guardan dicha autosimilitud en todas sus escalas, rompiendo la barrera que separa a lo microscópico de lo macroscópico. Conviene señalar la etimología del neologismo "fractal". Como reconoce Mandelbrot, a medida que fue descubriendo y domando a los "monstruos clásicos" de la geometría fractal se hizo necesaria la acuñación de un término, y lo hizo del adjetivo latino *fractus*, que proviene del verbo *frangere* (romper en pedazos); la idea pronto entusiasmó al matemático: "Es pues razonable, ¡y nos viene de perlas!, que además de *fragmentado* (como en *fracción*) *fractus* signifique también irregular, confluyendo ambos significados en el término *fragmento*" (Mandelbrot, 2003: 19). Desde su puesto en IBM, Mandelbrot fue investigando estas figuras hasta que consiguió "domarlas", y cuando lo hizo, creó la suya propia, el fractal más famoso de todos y que lleva su nombre: el conjunto de Mandelbrot (fig 14). En él, podemos apreciar todo lo que define a un fractal. La autosimilitud, la invariancia a cualquier escala o la longitud infinita, pues lo que llamamos fractales "tienen siempre en común presentar longitudes infinitas dentro de áreas finitas –algo extrañamente parecido a lo que llamamos libertad, o infinitud concreta-, así como una sencillez no menos abrumadora" (Escohotado, 1999: 90); algo que se consigue mediante la continua iteración de ecuaciones no lineales, dando lugar a una estructura que siempre es igual y siempre es distinta. Cuando en 1958 Mandelbrot se incorporó al equipo de IBM, comenzó a trabajar en una variedad de problemas que aparentemente no tenían nada que ver entre sí, como la frecuencia de palabras en lingüística, las fluctuaciones de la bolsa o la turbulencia, pero pronto percibió que todo estaba interconectado, pues todos esos problemas trataban sobre la "estructura geométrica de fenómenos irregulares" (Stewart, 1991: 224).

En su obra publicada en 1975, *La geometría fractal de la naturaleza*, Mandelbrot comienza cuestionando el concepto de longitud de costa preguntándose: ¿cuánto mide la costa de Gran Bretaña?:

"la longitud de costa es un concepto esquivo, que se nos escapa entre los dedos cuando pretendemos asirlo. Todos los métodos de medida llevan a la conclusión de que la longitud de una costa típica es muy grande, tan indeterminada que es mejor considerarla infinita. En consecuencia, si se quiere comparar la *extensión* de distintas costas, la longitud es un concepto inadecuado" (Mandelbrot, 2003: 49).

Cuando vemos una costa de lejos percibimos tan sólo una de sus dimensiones, pero a medida que nos vamos acercando descubrimos muchas más, y si

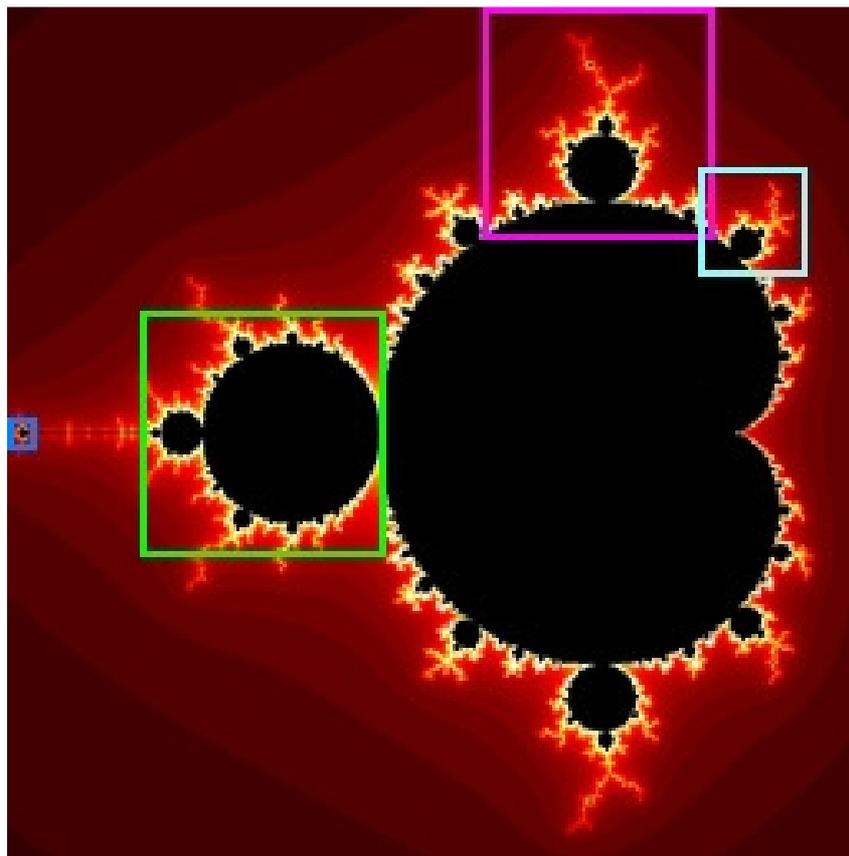
pudiéramos seguir aumentando la escala veríamos que el proceso es interminable. El problema es que nuestro diminuto tamaño nos impide ver el mundo tal y como observamos un árbol, el cual, por supuesto, tiene una forma fractal que podemos apreciar en el crecimiento de sus ramas. Frente al idealismo de las figuras euclidianas se imponía el realismo irregular del mundo natural; la diferencia que habría entre las formas euclidianas y las fractales sería la misma que entre los atractores clásicos y los atractores extraños. De hecho, los atractores extraños son figuras fractales (ibidem: 281).



Fig 13. Benoit Mandelbrot, n. 1924 (Wikipedia).

Mandelbrot definió varios tipos de fractales, como los escalantes, no escalantes, aleatorios, brownianos... (Mandelbrot, 2003), y todos ellos compartían la característica de que eran totalmente fieles al mundo natural, dado que Mandelbrot no distingue entre la teoría de los conjuntos matemáticos y la realidad de los objetos naturales. De ahí que la fractalidad se halle en toda la naturaleza (cuencas hidrográficas, cadenas montañosas, galaxias, islas, el cuerpo humano) ya que esta es característicamente irregular (Dyson, 1978: 677). Algo que se aprecia en toda la geometría fractal es el azar, dado que no se prefija el rumbo que van a seguir las iteraciones, simplemente se introducen las ecuaciones y se pulsa el botón del ordenador que las genera, lo que nos recuerda otra vez la dependencia del desarrollo de la teoría del caos con la evolución tecnológica de los ordenadores, puesto que fue con ellos con los que Mandelbrot pudo construir su nueva geometría. Lo más sorprendente de todo es que el mismo Mandelbrot reconoce que cuando fue a ingresar en la Escuela Politécnica de Francia tenía problemas con el álgebra, pero logró superar las pruebas de acceso transformando las preguntas escritas a imágenes dentro de su mente (Briggs y Peat, 2005: 90); esto nos hace recordar las "metáforas visuales" de la topología, disciplina sin la que la aparición de la nueva geometría fractal hubiera sido difícil, y que llevó a las matemáticas un modo de pensar mucho más intuitivo. En Mandelbrot primó sobre todo la intuición, pues como declaró, ayudó a eliminar errores de programas que no sabía leer, analizando las imágenes erróneas que contenían (ibidem). Esa intuición ha llevado

a la creación de programas que simulan falsos paisajes naturales que bien podrían pasar por verdaderos (fig 15), y ha conseguido avances insospechados hasta entonces en simular procesos geológicos como la erosión.



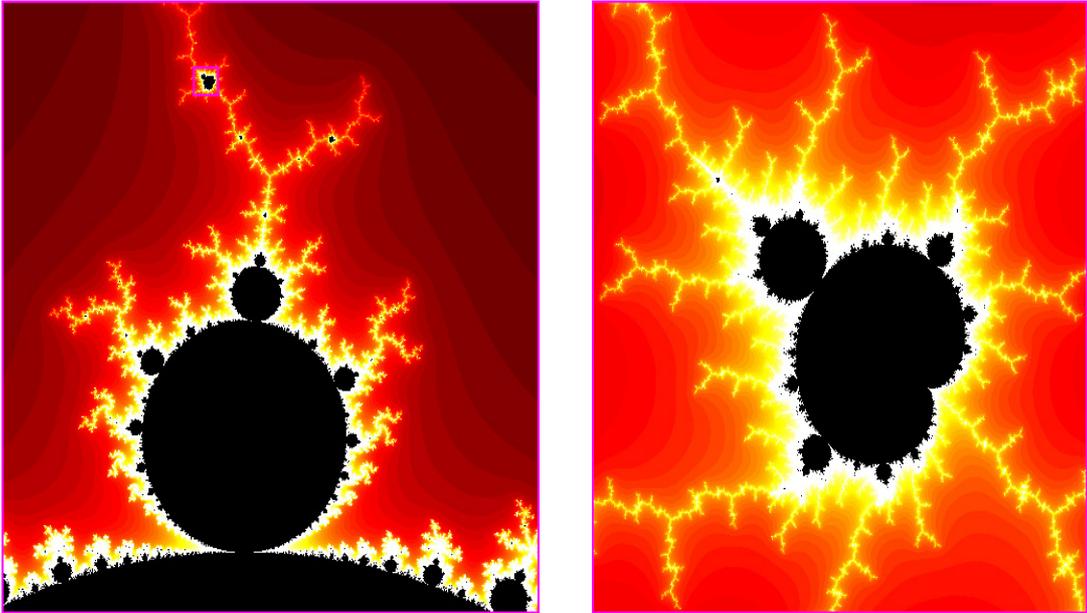


Fig 14. El conjunto de Mandelbrot (página anterior). Ampliando cualquiera de sus partes (izquierda y derecha), vemos que todo está interconectado, que todo se parece mucho, pero es distinto (Wikipedia).

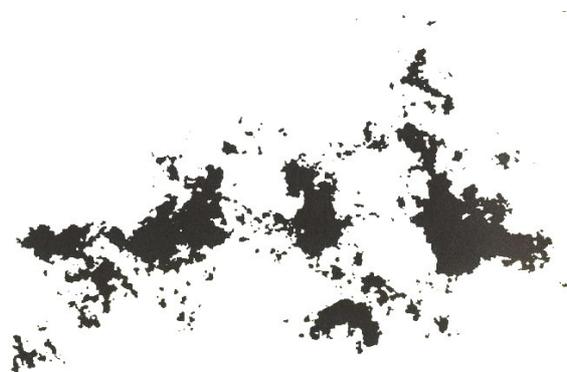


Fig 15. Simulaciones fractales realizadas por ordenador. Arriba, *colinas gaussianas que nunca existieron*; abajo, *costas brownianas y cadena de islas* (Mandelbrot, 2003).

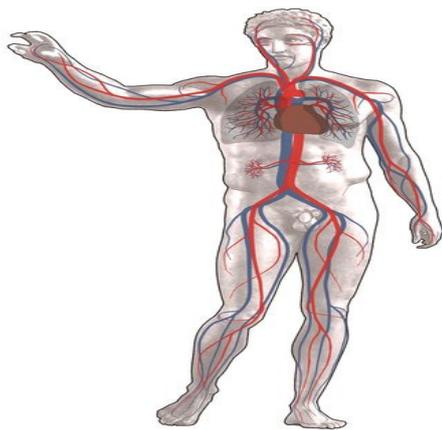


Fig 16. Estructura fractal en la naturaleza: sistema de venas y arterias del cuerpo humano (izquierda, Wikipedia) y conjunto de árboles (derecha, fotografía del autor).

Del caos surge el orden. Aunque Mandelbrot no menciona los procesos y dinámicas caóticas como tales, su obra tiene muchos tópicos que mantienen una relación directa con el caos, como la turbulencia de fluidos y la estructura a gran escala del universo (Stewart, 1991: 224). Él mismo reconocía que los atractores extraños eran fractales, y veía un orden subyacente en el azar de su nueva geometría. La teoría fractal venía a complementar el descubrimiento de Lorenz, y dotaba al nuevo paradigma del cuerpo geométrico necesario para conformar un nuevo modo de entender la ciencia; la geometría fractal se comienza a aplicar a la mayoría de las ciencias, como la geografía, la arqueología o la medicina (cfr. Chávez Grimaldi, 2006). El caos comenzaba a dar sus primeros pasos.

El último de los padres del caos es Ylia Prigogine, al que se le viene citando a lo largo de todo este trabajo. Ylia Prigogine tiene fe en el caos, pero a diferencia de Mandelbrot, que ve orden en el caos, él se fija en el orden que surge de estructuras disipativas, caóticas. Estuvo obsesionado con dos conceptos especialmente, el tiempo y la entropía. Pero además, Ylia Prigogine dedica mucho tiempo a reflexionar filosóficamente sobre el contexto cultural en el que la ciencia se expresa, como una prueba de que la ciencia no está libre de la influencia de las ideologías, como hemos podido comprobar anteriormente; para él la ciencia es un arte para manipular la naturaleza (Prigogine y Stengers, 2004: 293). En 1977 se le concedió el Premio Nobel de Química por sus investigaciones en termodinámica y los sistemas de no-equilibrio; Prigogine estudió el calor: cómo nace, crece y se expande, dando lugar a cierta clase de orden. Resulta curioso que el interés por el calor comenzó, al igual que las investigaciones de Poincaré, o los postulados de Nietzsche, Freud y Marx en el siglo XIX, época de los barcos de vapor y de la ferviente industrialización, de mano de científicos como Fourier. A través de sus investigaciones sobre el calor, Prigogine se dio cuenta de que a medida que éste

avanza, en cualquiera de sus formas –el fuego, por ejemplo-, aumenta la entropía del sistema, es decir, la medida de su grado de desorganización (Wiener, 1985: 34). Efectivamente, a medida que un incendio avanza se hace más incontrolable, pero a la vez, guarda un orden a la hora de propagarse: se trata de un sistema de no equilibrio. Del mismo modo, a la hora de avanzar hace que el pasado sea distinto del futuro, puesto que la medida que progresa va arrasándolo todo, siendo un proceso irreversible: es lo que Prigogine llama *la flecha del tiempo*, la distinción esencial entre lo pretérito y lo venidero, ya que la termodinámica avanza sólo en una dirección³²; para él, el tiempo es anterior a la existencia, anterior al *big bang* (Prigogine, 1997:187). Esto provoca el fin de las certidumbres, de las predicciones, del determinismo, del conocimiento absoluto de todo, puesto que no podemos saber desde el presente lo que va a ocurrir en el futuro; algo a lo que la ciencia clásica siempre había aspirado.

La termodinámica “introdujo el tiempo y la historia en un universo que Newton y la física clásica habían pintado como eterno”, pues como “las ecuaciones de la mecánica newtoniana son reversibles, los físicos llegaron a la convicción de que en el nivel básico de la materia el tiempo no tiene dirección” (Briggs y Prats, 2005: 135). Pero sí la tiene. Gracias a Prigogine, sabemos que tanto en física como en historia el tiempo no es siempre igual, no es reversible. Un ejemplo claro lo encontramos en un yacimiento arqueológico, ya que cuanto más tiempo pasa más posibilidades de alterarse y de perder información tiene; con el paso del tiempo, aumenta, en cierto modo, su entropía. En el capitalismo tampoco lo es, y a medida que se expande, Occidente aumenta también su grado de entropía, de desorganización, se hace más incontrolable: ¿cómo acabará esto?, es una pregunta que suele rondar la cabeza de los más inquietos, y también una frase que se suele escuchar en cualquier ámbito de la sociedad actual. Para la etnoarqueología, el avance del mundo occidental es también un proceso irreversible, puesto que las sociedades industriales tienen sus días contados (Gonzalez Ruibal, 2003: 9) y “cada vez que muere un chamán es como si ardiera una biblioteca” (Gell-Mann, 1995: 357); realmente, esto muestra una gran coherencia con el momento vivido, pues la ciencia forma parte del entramado cultural en el que el ser humano trata de buscar la coherencia intelectual: de hecho, es una práctica cultural (Prigogine y Stengers, 2004: 30).

³² Se trata del principio de conservación de la energía, que prevé el agotamiento del universo y su extinción por muerte térmica o entropía.



Fig 17. Ilya Prigogine, 1917-2003 (Wikipedia).

Entre Mandelbrot y Prigogine reaparecería el interés por un fenómeno antiguo y universal, la turbulencia; y también una nueva forma de interpretar la teoría de la evolución de Darwin. Comencemos con la turbulencia.

En 1971, dos investigadores europeos (uno belga; el otro holandés), publicaban un artículo en el que reconocían la validez y la necesidad de los atractores extraños en el estudio de la turbulencia (cfr. Ruelle y Takens, 1971); un suceso que se manifiesta tanto en la lava de un volcán al desplazarse como en el viento o en el agua. En una época en la que las comunicaciones son la regla imperante, la investigación de la turbulencia se hacía necesaria. Aunque una persona halla volado sólo una vez en toda su vida es muy probable que haya experimentado la sensación de atravesar una "zona de turbulencias": imaginemos un piloto de avión que desconoce la existencia de este hecho y comprenderemos la importancia que la investigación de la turbulencia representa para la cultura occidental. Nos limitaremos a tratar la turbulencia en el agua, elemento a quien Novalis, el poeta de finales del siglo XVIII, denominó como *caos sensible* (Stewart, 1991: 172).

Debido tal vez a su encomiable espíritu ecléctico, Leonardo, el estereotipo renacentista por excelencia (científico, filósofo, inventor, pintor...), ya se preocupó por la turbulencia. En sus cuadernos de apuntes y dibujos reflejó su interés por este fenómeno caótico (Briggs y Peat, 2005; Mandelbrot, 2003); observó atentamente el flujo del agua en las cañerías y la erosión que provocaba el flujo rápido (Briggs y Peat, 2005: 47). Ciertamente, Leonardo fue un adelantado para su tiempo, ya que la turbulencia se fue haciendo cognoscible a medida que se producían los progresos en las nuevas tecnologías informáticas, como en el caso de Lorenz, Mandelbrot, Prigogine y el resto de investigadores que conforman la nueva ciencia del caos. Pese a lo imponente de su ansia por saber, Leonardo no podía hacer nada más que referenciar la existencia del hecho, pues carecía de la cultura material precisa que le permitiera medir, cuantificar y representar tal proceso, un instrumento que le permitiera proyectar los movimientos de la turbulencia a cámara lenta.

Durante el siglo XIX, algunos científicos poco conocidos (von Helmholtz, lord Kelvin y lord Raleigh) realizaron importantes aportes en cuanto a experimentación, pero la turbulencia siguió siendo una línea de investigación de poca relevancia (ibidem), quizás por el mismo motivo que para el caso de Leonardo. No sería hasta 1948 cuando la turbulencia comenzó a tomar forma como objeto de innegable interés científico, pues se otorgó el premio Nobel a Lev Landau, quién reconocía en la turbulencia cierta clase de caos, ya que da comienzo de manera progresiva a medida que los movimientos dentro del fluido se hacen cada vez más complejos. Creía, como Leonardo, que la turbulencia acaecía tras un gran número de bifurcaciones (ibidem: 49), algo que podemos observar de manera muy simple abriendo un grifo de agua gradualmente, desde el goteo hasta la explosión máxima pasando por la fase de flujo laminar; al mismo tiempo que Wiener nos legara sus investigaciones sobre realimentaciones y sistemas autoorganizados, ya se perfilaba otro campo de trabajo para el caos y la complejidad: como siempre, sin una conexión aparente entre ambos.

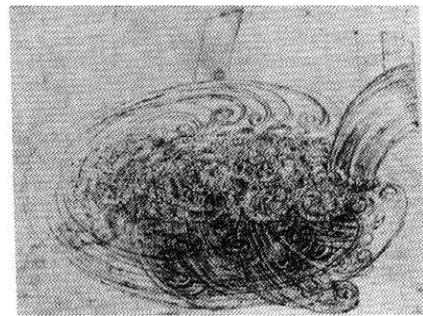


Fig 18. Sendos dibujos de Leonardo sobre la turbulencia (Mandelbrot, 2003 [izquierda], Briggs y Peat, 2005 [derecha]).

Después, se comprobaría que las ideas de Landau no eran del todo correctas, pues un seguidor de sus teorías, el científico alemán Eberhard Hopf inventó un modelo matemático que pretendía describir las bifurcaciones conducentes a la turbulencia (ibidem: 50); este modelo aducía que el atractor que estaba detrás de la turbulencia era de un nuevo tipo, llamado *ciclo límite*³³. El ciclo límite venía a representar un atractor donde el flujo está distorsionado por oscilaciones regulares, que no se detendrán aunque lancemos piedras, pero que es estable y periódico. Fueron David Ruelle y Floris Takens (1971) los que utilizaron por primera vez el término *atractor extraño*, para referirse a las vicisitudes en la formación y comportamiento de la turbulencia; posteriormente, el atractor de Lorenz sería

³³ Quizás se debería de haber nombrado antes al ciclo límite, cuando hablamos sobre atractores extraños, pero se ha querido respetar un orden temático en cuanto a los temas que trata el caos. Se requería que los descubrimientos de Lorenz y los de la turbulencia se trataran de manera separada.

reconocido como el primer atractor extraño. El conocimiento de la turbulencia se hace cada vez más necesario en nuestra época actual, ya que trágicos sucesos como el tsunami del sudeste asiático o el reciente huracán Katerina que asoló Nueva Orleans tienen un origen turbulento. En el caso del sudeste asiático, el del tsunami, éste puede empezar siendo una turbulencia inofensiva provocada, por ejemplo, por la fractura de una placa terrestre; pero del caos puede surgir el orden; un orden destructor. Es lo que se conoce como *solitón*: una pequeña turbulencia puede convertirse en un tsunami a través de realimentaciones sucesivas, todo depende de sus condiciones iniciales (recordemos el efecto mariposa de Lorenz). Influye también la irregularidad (la no linealidad) del lecho oceánico, pues los solitones pueden viajar intactos por el mar durante miles de kilómetros, pero a medida que van entrando en contacto con la masa terrestre, su entropía crece y aumenta, y lo que antes eran pocos centímetros se convierten en treinta metros, dando lugar a una tragedia humana (Briggs y Peat, 2005: 123). Lo mismo puede ocurrir en la atmósfera, dando como resultado huracanes, tornados o tifones. Realmente, cuesta disociar el interés por la turbulencia y los solitones (génesis de grandes catástrofes) de una época, como la nuestra, de grandes guerras, enormes fraudes y profundas bellaquerías políticas y humanas.

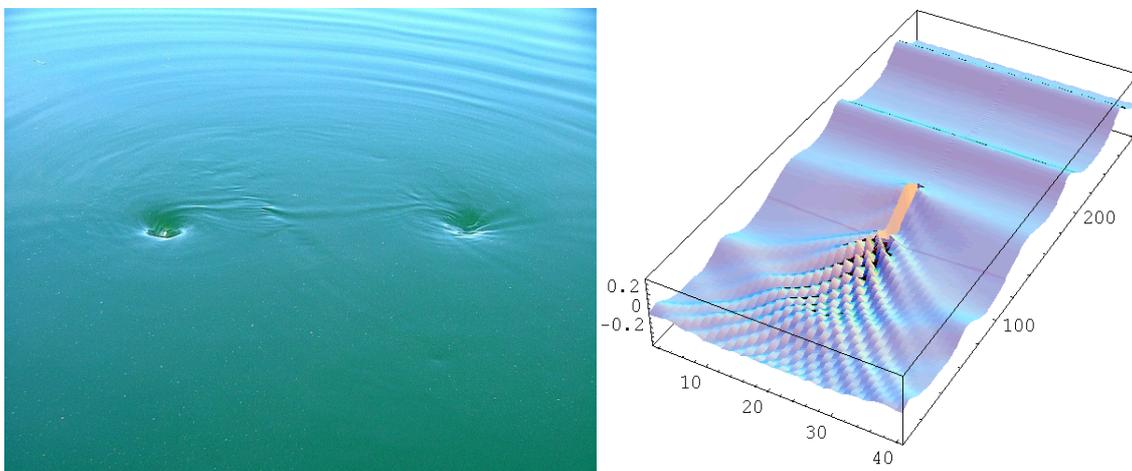


Fig 19. Solitones y su propagación (Wikipedia).

Otro gran descubrimiento iba a suceder muy parejo en el tiempo. En 1976, el físico dedicado a la biología Robert May estudiaba el crecimiento de una población animal cuando esta sobrepasa el punto crítico o de acumulación, cuando se encuentra al *límite del caos*. De nuevo, al utilizar un ordenador para obtener una representación gráfica de dicho proceso mediante la iteración de ecuaciones y la simulación de un modelo, observó que hasta cierto punto el sistema se comporta de manera lineal y continua, pero superado cierto parámetro deja de ser lineal y se

bifurca en dos puntos. Si el parámetro vuelve a elevarse una y otra vez, acontecen nuevas bifurcaciones, cada vez más atosigada y azarosamente hasta que el sistema se vuelve caótico e inestable (Escohotado, 1999: 86). Un científico tradicional se hubiera parado aquí, pero May no lo hizo. Siguió modelando la ecuación y comprobó cómo “en ese azaroso polvo retornan ciclos estables, que son como ventanas de orden y, convenientemente ampliadas, exhiben una notable semejanza con el conjunto del gráfico” (ibidem). Es lo que se conoce como *ruta hacia el caos por duplicación de períodos* (fig 20), siendo el período el tiempo que un sistema tarda en volver a su estado original (Briggs y Peat, 2005: 58); la bifurcación de May, guarda una de las propiedades de los fractales, la autosimilitud.

Así, las poblaciones animales (homínidos incluidos) se ven sometidas a explosiones demográficas incontrolables y, en cierto modo, impredecibles, lo que ha hecho aparecer nuevas formas de entender el evolucionismo de Darwin, más allá del seguimiento evolutivo de una sola especie. Ahora, más que de la evolución de una sola especie, se habla de *coevolución*, cuyo ejemplo más claro puede ser la ancestral planta del maíz, Teosinte. Comenzó siendo una hierba común hasta que los humanos la seleccionaron y la cultivaron para obtener mazorcas más grandes. Actualmente ya no se basta por sí misma y necesita que los humanos le quiten los hollejos; por su parte, los humanos también necesitan al maíz, alimento primario (Briggs y Peat, 2005: 160). Así, la extinción de una especie no pudo suceder sólo por su propio fracaso biológico, sino por el de otra especie (animal o vegetal) compañera de evolución.

El padre del equilibrio puntuado, Stephen Jay Gould, nos transmite esta idea recuperando la interpretación que el anarquista ruso Kropotkin hizo sobre la teoría de la evolución de Darwin. Es de sobra conocida la interpretación que maliciosamente muchos realizaron sobre las ideas de Darwin, con ejemplos como el darwinismo social, pero además, en la propia interpretación que se le fue dando con el paso del tiempo, se excluyeron las opiniones de personajes ajenos a la tradición occidental pero que vivieron la misma época que Darwin.

De este modo, la “visión del gladiador” de la selección natural es la que se impuso (Gould, 1997), siendo un claro reflejo de la influencia del liberalismo económico: sobrevive el más fuerte. Pero a la luz de los nuevos descubrimientos en la evolución de las especies, Gould recupera la manera en que Kropotkin percibió la evolución, siendo muy diferente a la de europeos y norteamericanos (Briggs y Peat, 2005: 159). Kropotkin desarrolló su interpretación de Darwin tras varios viajes a Siberia y el norte de Manchuria, donde no observó una lucha despiadada entre los animales por su supervivencia:

“si nosotros (...) preguntamos a la naturaleza quiénes son los más aptos, si los que continuamente guerrean entre sí o los que se respaldan mutuamente, vemos de inmediato que los animales que adquieren hábitos de socorro mutuo son indudablemente los más aptos. Tienen más oportunidades de sobrevivir, y alcanzan, en sus clases respectivas, el mayor desarrollo de inteligencia y organización corporal” (Kropotkin, citado por Gould, 1997).

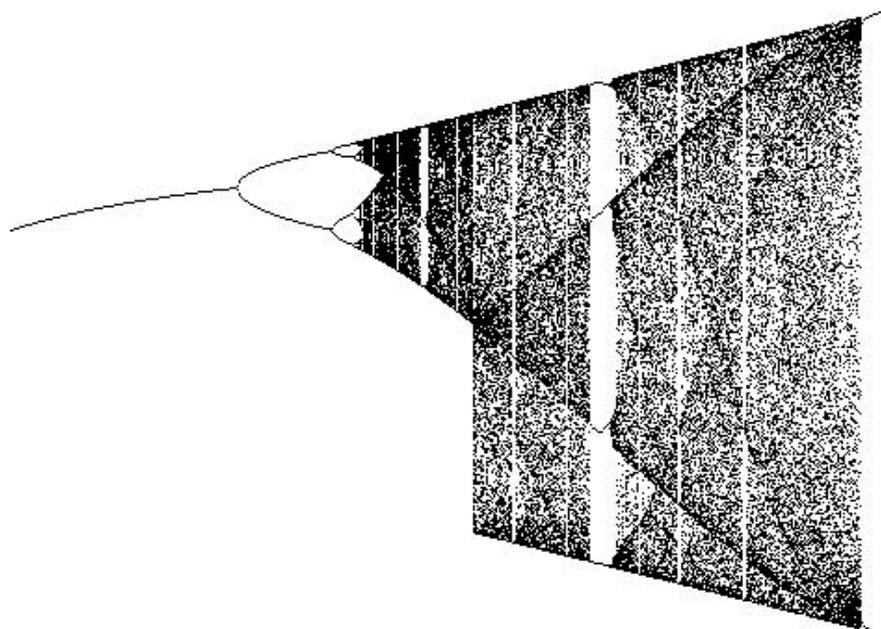


Fig 20. Bifurcación de May (Wikipedia).

El problema fue que Kropotkin expuso sus ideas sobre la evolución en su *Ayuda mutua*, que es más una obra de carácter filosófico, y se le tenía por una persona que dejaba que su moral influyera en su discurso científico, algo que la ciencia clásica siempre ha negado, pese a que sea evidente que el capitalismo vio en la “visión de gladiador” de la selección natural la excusa perfecta para su expansión. Sin embargo, los verdaderos pensadores tienden a ver sus preferencias sociales en la naturaleza (Gould, 1997: 5), no ha huir de ellas. Sobra decir que tanto las bifurcaciones como la coevolución son dos conceptos muy interesantes para el estudio de nuestra propia filogenia evolutiva y que pueden ofrecer una vía muy eficaz para comprender el caótico aspecto de la paleontología humana.

A mediados de los años 80 del siglo XX, la teoría del caos iba a ocupar su lugar en el privilegiado hogar de la ciencia. Es en tal fecha cuando aparecen artículos en revistas de gran prestigio, que reconocen que ha nacido un nuevo modo de entender el discurso científico que rompe con los conceptos y aproximaciones tratados hasta ese momento por una ciencia que desde entonces, pasó a denominarse como clásica. Se reconocía la existencia de sistemas caóticos, y de

que estos gobiernan la mayoría de los fenómenos que conocemos como naturales (desde la geología hasta la astronomía), puesto que una evidente proporción de ellos exhiben propiedades caóticas, lo que hace que las predicciones sean imposibles a largo plazo y que hayamos de reconocer una profunda incertidumbre al hablar de ciencia (Lighthill, 1986), más que una certeza absoluta. También cobraba fuerza la idea de que el progreso intelectual tiene un requisito imprescindible: la renovación conceptual, la necesidad de inyectar las ideas nuevas (que brotan de un contexto cultural, histórico y social concreto) en las viejas; el caos, “nos provee de un mecanismo que permite la libre voluntad en un mundo gobernado por leyes deterministas” (Crutchfield, Farmer, Packard y Shaw, 1986). Un mundo en el que todos somos supuestamente libres, pero tristemente esclavos.

Algunos de los últimos experimentos que se han realizado en torno al caos, parecen concordar con ese aire de extravagancia que siempre se les ha achacado a los científicos del caos y la complejidad. Uno de ellos, es sobre atractores extraños. En un artículo publicado en 1986 en *Scientific American*, investigadores de la universidad de Santa Cruz en California se proponían la idea de medir un sistema caótico simple para hallar su atractor extraño, y escogieron el goteo de un grifo: el resultado no iba a dejar de sorprender. A medida que introducían los cálculos en el ordenador, se generó un atractor extraño (fig 21) francamente parecido al de Hénon (que recordemos guardaba mucha similitud con la estructura de los anillos de Saturno); además, pronto advirtieron que comenzaban a aparecer nuevos atractores extraños no descubiertos hasta entonces (Briggs y Peat, 2005: 88-89; Stewart, 1991: 194-195).

También, desde la perspectiva de los sistemas autoorganizados se han desarrollado modelos matemáticos que nos hacen ver la estructura fractal que guarda un sistema como el que conforma el tráfico de coches (cfr. Nagatani, 2007 y Pesheva, Danesa y Brankov, 1997); en el mismo sentido se entiende el concepto de *criticalidad autoorganizada*, propuesto por el físico teórico danés Per Bak junto a Chao Tang y kart Wiesenfeld. Comenzaron estudiando montones de arena como los que se forman en la playa o el desierto, en donde todas las pendientes tienen el mismo valor. Sin embargo, al crecer el montón por efecto del viento o de un físico en el laboratorio, la pendiente lateral aumenta hasta un punto crítico, en el cual se autoorganiza sin necesidad de ninguna influencia externa para crecer y no desestabilizarse (Gell-mann, 1995: 114). Lo que indica el proceso es que se sigue una ley exponencial, en la cual el sistema se autoorganiza y expulsa autónomamente los granos de arena necesarios en cualquiera de sus escalas, para que el sistema no se venga abajo. Este concepto, como veremos más tarde, ha sido aplicado ya en la arqueología.

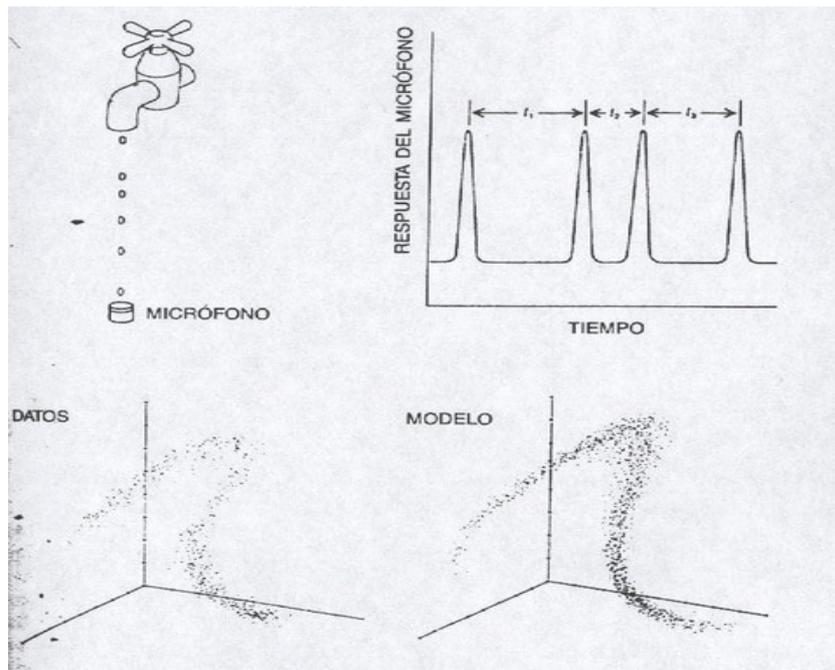


Fig 21. El experimento del grifo, obsérvese el parecido con el atractor de Hénon (ver figura 12) (Stewart, 1991).

Como práctica cultural, la ciencia tiene que evolucionar conjuntamente a la mentalidad y los valores del contexto en el que vive. ¿Tiene algo que ver el goteo de un grifo con los anillos de la órbita de Saturno?, ¿están ambos atraídos por la misma fuerza? Parece que todo está interconectado y que los estamentos mentales de la ciencia tienen que renovarse: “el mercado ya se ha estropeado. Supuestamente esto ha de ser un mercado *científico*. ¿Es posible que estas bobadas sean ciencia? Oh, sí” (Stewart, 1991: 48). Parece que Peirce tenía razón, se hace necesario que nuestra mentalidad y nuestras ideas sobre el universo y todo lo que contiene evolucionen románticamente junto al devenir histórico, social y cultural. El cambio, ha de surgir de alteraciones sucedidas en profundos abismos de nuestra estructura mental y psicológica, de nuestra propia capacidad para comprender la naturaleza humana y la no humana: el caos, es una buena alternativa.

-ANEXO I: Caos: la teoría de la contemporaneidad.

Que la teoría del caos rompe con los postulados de la ciencia anterior al siglo XIX, inicio del mundo contemporáneo, es algo perceptible en la mayoría de las obras sobre tal asunto. En ese cambio, influyen también factores de orden ideológico. Un mundo libre que se vanagloria de serlo no podía seguir acercándose

a la ciencia con una mentalidad propia del absolutismo, en la que sólo hay dos cuerpos, dos protagonistas...quien ejerce el poder (la fuerza, la causa) y quien es mandobediente (el cuerpo, el efecto). Las ciencias del caos, el nuevo paradigma, emerge en una nueva civilización que con mayor o menor falsedad reniega de absolutismos políticos, religiosos y científicos, una cultura en la que proliferan estados aconfesionales y gobiernos elegidos por el sufragio de todos y de todas (Escohotado, 1999: 81). Los nuevos tiempos, imponen la creencia de que:

“mundos distintos engendran modelos distintos, y aunque lo observable dependa de la teoría, el teórico depende de lo vivido. Y lo vivido es el proyecto de que las sociedades se autoorganicen, de abajo arriba en vez de arriba abajo, como hasta entonces, a pesar de que esa meta resulte sabotada sin pausa” (ibidem).

Se hacía necesaria una nueva forma de conversar con la naturaleza, de manipularla, de sacarla del mundo ulterior de las teologías científicas para introducirla en un mundo más real, más acorde con los preceptos que nos legó la revolución francesa, aunque en la mayoría de las ocasiones, el trastero político y económico del mundo contemporáneo se limite a escupirnos tales conceptos en forma de buenas palabras y de pocas conquistas morales. Esta nueva aspiración ha llevado a una renovación conceptual de la ciencia, donde las leyes de la naturaleza no son ya certidumbres imperecederas, sino probabilidades, aproximaciones estadísticas, sucesos e incertidumbres. Se habla de leyes del caos, pero prontamente se aclara que la noción de ley no es la misma que hasta entonces, ya que ahora lleva implícita cierto componente de indeterminismo (Prigogine, 1999). Ciertamente, el aluvión del siglo XIX unido a la tragedia humana de los siguientes cien años ayudó a derribar los viejos y caducos supuestos.

Aparte de las figuras de Poincaré o Peirce, que iniciaron el fin de las certidumbres en el discurso científico, durante la época decimonónica surgieron otros personajes que contribuyeron a la caída de las certezas desde una posición filosófica y humana, a los que podríamos resumir en tres nombres: Marx, Nietzsche y Freud. Los planteamientos de estos tres descubridores de las contradicciones humanas (políticas, filosóficas o psicológicas) hicieron mucho más fácil el duro camino hasta el indeterminismo, coincidiendo también con una crisis de las matemáticas que se produce entre 1875 y 1925 y que bien representan Poincaré y las “galerías de monstruos” condenadas a la patología geométrica; la crisis de la civilización occidental se manifestó también en la que muchos llaman reina de las ciencias, la matemática, que no deja de ser un lenguaje muy bien construido y articulado. El trío de la sospecha surge en el mundo occidental, pero como veremos

más adelante, la nueva ciencia del caos exige también romper con la oposición universal que separa al este del oeste, quizás un síntoma más de su coherencia intelectual, puesto que se percibe, de un modo cada vez más apremiante, una globalización que hace que se derriben antiguos prejuicios sobre la calidad y la necesidad de los sabios clásicos orientales: Asia en Europa, Europa en América, América en África, África en Oceanía...y en el centro, nosotros y nosotras, los seres humanos, contemplando un devenir histórico que aún no ha eliminado la guerra y el homicidio legal de su lista de tareas.

Las ideas de Karl Marx (1818-1883), escocieron como pocas lo habían hecho en la nueva civilización occidental. No conviene aquí descender mucho en los postulados de quien sea quizás el personaje más influyente en la historia contemporánea, pero ha de quedar reflejado que el concepto de alienación despertó el interés por señalar la constante contradicción histórica que existe entre quien ejerce el poder y los afectados por tal actividad. Señaló con extrema agudeza como el ser humano pierde su libertad, su creatividad, frente a la producción, lo que hizo que por toda Europa comenzaran a surgir partidarios de sus ideas en un tiempo netamente breve. Quizás donde más hondo calaron sus ideas fue en la autocracia zarista de Rusia, donde tras interpretar su filosofía se procedió a la creación de una ideología que llevaría a levantar la URSS, que muy pronto, tras la muerte de Lenin, pasaría a convertirse en el imperio soviético de Stalin. La fractura fue tal que hasta finales de los años 80 del siglo XX, el mundo político estuvo dividido en dos bloques antagónicos, con intereses bien opuestos; los dos igual de dogmáticos, los dos tristemente dirigidos.

Con toda probabilidad, Marx no tenía a la URSS en la cabeza cuando se propuso criticar el capitalismo, de hecho sus pronósticos de que la revolución se debería de producir en un país industrializado y liberal (al estilo de Inglaterra o Estados Unidos) resultaron erróneos al surgir en un vasto país poco industrializado, en el que ni siquiera se jugaba con las cartas de la corriente liberal europea. Marx fue ante todo un crítico, y su filosofía es seguramente a la que se ha sometido con mayor impunidad a toda serie de tergiversaciones, desvíos e inexactitudes. El propio Marx se refería a lo que podría convertirse en un monumento al dogmatismo bajo un disfraz de revolución:

“quiere prescindir de forma violenta del talento, etc (...) Negando por completo la personalidad del hombre (...) La envidia general y constituida en poder no es sino la forma escondida en que la codicia se establece y, simplemente, se satisface de otra manera” (Marx, 1968, citado por Escotado, 1999: 136).

Marx, jamás podía imaginar que sus ideas pudieran dar lugar a un estado-nación tan totalitario como el que él mismo criticaba, un estado orwelliano donde volar distinto a los demás supone que a uno le corten las alas. De ahí la iniquidad e inmundicia de ciertos sectores de opinión contemporáneos en defenestrar su figura, haciendo a sus ideas culpables de la mano de hierro de Stalin. Las mafias antimarxistas siempre tratan de vender a Marx como algo típicamente antioccidental, pero no lo fue; más bien fue un producto de occidente, creado en las entrañas y los más bajos fondos de la civilización occidental para vomitarle en la cara sus impertinencias más salvajes: Marx no escribió contra la igualdad o la libertad (estandartes evidentes de la revolución francesa), sino más bien a su favor.

El papel de Sigmund Freud (1856-1939) en la conformación conceptual del indeterminismo fue asombroso. Desde la psicología observó el drama causado a la *megalomanía* humana por tres grandes descubrimientos científicos: el heliocentrismo (la tierra ya no era el centro del universo), la evolución (el ser humano se convertía en animal) y el inconsciente (despojando al yo de su status de soberano); se trata en los tres casos de procesos irreversibles: "la tierra no sería *nada más que* un planeta entre otros muchos, el hombre no sería *nada más que* un animal, el yo no sería *nada más que* una dimensión parcial y huella de ilusiones de la vida física" (Freud, 1975: 266, citado por Prigogine y Stengers, 2004: 341). Lo que se comenzaba a superar eran las oscuras aspiraciones del antropocentrismo renacentista, algo de lo que Nietzsche tuvo mucho que decir. Por su interés como figura polémica y quizás por simpatías personales del autor, se le dedicará una atención especial.

Friedrich Nietzsche (1844-1900) ha podido ser quizás el intelectual más vilipendiado y más odiado por el conservadurismo occidental, en buena parte por habersele ocurrido la idea de decretar la muerte de Dios, objeto de uniones y desacuerdos en Europa, madre de Occidente. En una época en la que la religión empezaba a ser vista como el opio del pueblo, y la alienación capitalista provocaba una irremediable tristeza, Nietzsche propuso otra cosa:

"nadie debe sufrir mal alguno en mis dominios. Mi cueva es un puerto seguro; y nada me encantaría más que llevar a tierra firme, y con pie firme, a todos cuantos están tristes. Pero, ¿quién puede quitarte de encima tu melancolía? ¡Cuánto habría que esperar hasta que alguien viniera a resucitar a tu dios! Porque ese viejo Dios ya no existe: está bien muerto" (Nietzsche, 1999: 248).

Perdía la confianza en Dios y le enterraba, porque era un dios olvidadizo de su gente. También en la época de Nietzsche se asentó el pensamiento positivista, el

intento de explicarlo todo a través de la ciencia, la cual intentaba escapar a la condición humana mediante explicaciones abstractas y numéricas de todo lo que le rodeaba. Pero el mismo Nietzsche veía en ello una incoherencia total, pues le resultaba ridículo hablar de leyes químicas, como si ésta estuviese gobernada por normas similares a las morales o las políticas (Prigogine y Stengers, 2004: 174). No es difícil de entender. ¿Existió antes la ley o el discurso científico? La respuesta no ofrece dudas: la ley, aunque sea consuetudinaria. De manera, que el intento de legislar la naturaleza es ante todo una extrapolación de la mentalidad humana a la realidad que le rodea; no deja de ser una práctica cultural, aunque muy sofisticada. No hay un *conocimiento inmaculado*:

“(...) Esta parábola va por vosotros, hipócritas sentimentales que vais en pos del *conocimiento puro*. ¡Yo os llamo lascivos! También vosotros amáis la tierra y todo lo terrenal. ¡Demasiado bien os conozco!; pero en vuestro amor hay vergüenza y mala conciencia. Os parecéis a la luna. Han persuadido a vuestro espíritu a que despreciéis a la tierra (...) El seducido se seduce a sí mismo diciéndose: *¡cuánto me gustaría amar la tierra como la ama la luna y tocar su belleza tan sólo con los ojos! Quisiera tener un conocimiento inmaculado de todo, que consistiera en no desear nada de nada; a excepción de que pudiera colocarme ante todo como un espejo de cien ojos*. ¡Lascivos, hipócritas, sentimentales!” (Nietzsche, 1999: 135).

Esa invitación a no aceptar las certidumbres y el determinismo, me atrevo a postular que se convirtió en el trasfondo de la teoría del caos, aunque sería un asunto pendiente de investigación, puesto que en su afán nihilista, Nietzsche negaba cualquier aspecto de la realidad. No obstante, las evidencias parecen claras, pues a través del caos sabemos que la posibilidad de un conocimiento completo es nula (Prigogine y Stengers, 2004: 82). Además, las ciencias del caos suponen la superación del antropocentrismo (Prigogine, 1997; Prigogine y Stengers, 2004), algo que Nietzsche tenía muy claro, ya que “el hombre es algo que ha de ser superado” (Nietzsche, 1999: 252). La falta de comprensión que las ideas de Nietzsche encontraron en su época y el propio devenir de su vida, llevaron a este pensador a sufrir varias crisis mentales, la última de ellas en 1889. Desde 1897 pierde la lucidez mental; en 1900 muere.

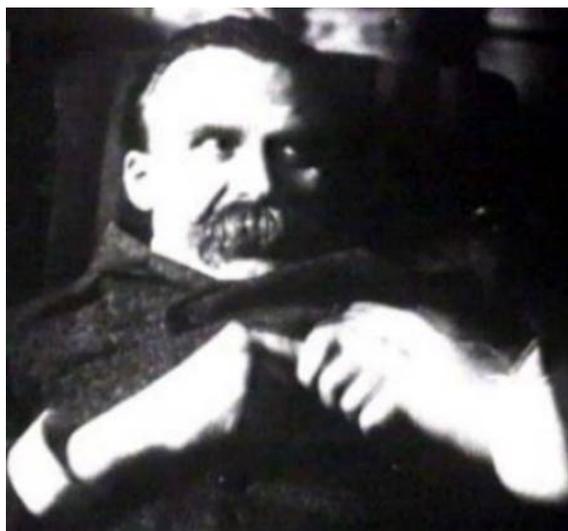


Fig 22. Friedrich Nietzsche poco antes de morir (Wikipedia).

Pero el paradigma del caos no vive sólo de occidente, pues el nuevo concepto "no permitirá que nuestra ciencia sea estrictamente occidental" (Prigogine y Stengers, 2004: 47). La ciencia clásica, reflejo de los absolutismos y despotismos de antaño, muestra prioridad por el orden y la norma (Briggs y Peat, 2005; Escohotado, 1999; Prigogine, 1997; Prigogine y Stengers, 2004; Stewart, 1991), mientras que el caos hace lo propio con el desorden. Esa lucha entre el caos y el orden, ha preocupado siempre a la filosofía clásica china, cuyo ejemplo más evidente puede ser el concepto del Yin y el Yan (caos y orden/bien y mal). Lo peor, es que a la vista de los descubrimientos de la teoría del caos, las enseñanzas de la filosofía china resultan muy enriquecedoras. ¿Por qué es peor? Pues porque nos muestra hasta qué punto la ciencia clásica se ha dejado llevar por el universal etnocentrista, rechazando de raíz cualquier aporte que pudiera hacer la civilización del extremo oriente. Esto es debido, en parte, a que "la concepción de la naturaleza pasiva sometida a leyes deterministas es una especificidad de Occidente" pues "en China, o en Japón, *naturaleza* significa *lo que existe por sí mismo*" (Prigogine, 1997: 20). A la vez, crecían dos concepciones sobre la ciencia en dos mundos distintos³⁴ e internamente contradictorios. En occidente, con la democracia griega, caían los tiranos, pero se instauraba un modo de entender la ciencia jerárquico y determinista; mientras en la vieja China, cuna de colosales imperios, se percibía a la naturaleza sin una sujeción fija a leyes. En el pensamiento filosófico y científico clásico chino, no hay autoridad exterior (Prigogine y Stengers, 2004: 75). Quizás el problema sea que estas filosofías tengan un trasfondo religioso, aunque no eclesial, incluidas en lo que se conoce como taoísmo. Como ejemplo, se han escogido

³⁴ Tanto la filosofía clásica griega como la china (Sócrates-Platón-Aristóteles VS Confucio-Laotse-Chuang tzu) se conformaron entre el siglo V y el IV a. C.

algunos extractos de uno de los grandes maestros de la filosofía china clásica: Chuang Tzu.

Una idea clara de la filosofía clásica china es que no hay un conocimiento absoluto *per se*, una última causa de todo. También, que los instrumentos que utilizamos para medirla, no representan una realidad objetiva, independiente de todo. Chuang Tzu nos lo cuenta como sigue:

“querer regularizarlo todo con cartabón, cuerda, compás y escuadra es vulnerar la naturaleza. Valerse de cuerdas, engrudos y colas para fijar las cosas es lesionar la virtud. Quien somete a los hombres mediante ritos y los anula mediante músicas, quien los protege mediante la bondad y los tiene unidos mediante la justicia, ése corrompe sus naturalezas originales. Cada estado de la naturaleza es tal como es; la curva natural no es obra de ningún cartabón; la recta natural no es obra de ningún cordel; el círculo natural no es obra del compás; el cuadrado natural no es obra de ninguna escuadra”³⁵

En otro pasaje, nos cuenta como un hombre que va en busca del eterno saber se encuentra con un hortelano que regaba sus plantas una a una, sin uso de acequias. El forastero, Tzu Kung comienza una conversación:

“-Si tuvieses una máquina con la cual pudieses regar cien arriates en un día, ¿no te gustaría emplearla?

-¿Cómo es? –preguntó el hortelano”

Tras explicarle como se construye esa máquina, el hortelano comienza una reflexión acerca del mecanicismo, que era la manera en que se concebía al universo newtoniano, a modo de un reloj que puede montarse y desmontarse, que es reversible:

“-Oí decir a mi maestro que quienes se sirven de aparatos mecánicos, han de ocuparse de tareas mecánicas, y necesariamente su espíritu se mecaniza. Quien tiene el espíritu mecanizado no posee más la pureza de la inocencia y pierde por ello la paz del alma”

Tras contestarle Tzu Kung que es un discípulo de Confucio, uno de los grandes sabios chinos, el hortelano vuelve a la carga:

³⁵ Todos los extractos de Chuang Tzu, se han recogido de la edición de sus obras completas publicada por ediciones Cort en 2005 (ver bibliografía).

“-¿No serás uno de los que utilizan su vasto saber con el propósito de pasar por santos, uno de los que adulan al pueblo para dominarlo mejor y quieren, compadeciéndolo, comprar fama? Si olvidaras tu inteligencia y dejaras a un lado tu cuerpo, podrías recobrarte a ti mismo. Apenas puedes gobernar tu propia persona ¿cómo pretendes el gobierno del mundo? Ahora, vete y déjame en paz”

Una última reflexión nos lleva a la valoración de los clásicos, a ese costumbre ancestral que nos lleva a deglutir todas las enseñanzas de los que nos precedieron sin cuestionarlas lo más mínimo, algo a lo que la teoría del caos debió de enfrentarse en su nacimiento, puesto que cuestionaba los principios básicos de la física newtoniana. Cuenta Chuang Tzu, que el duque Huan estaba leyendo tranquilamente, cuando un carretero le preguntó:

“-¿Puedo tomarme la libertad de preguntar al duque que cosa lee?”

-Estoy leyendo las palabras de los santos –respondió el duque.

-¿Están vivos esos santos?- preguntó Pien, el carretero.

-No, murieron tiempo ha –contestó el duque.

-Entonces lo que estás leyendo son las heces de los antiguos”

El duque le da la oportunidad de explicarse, y si resulta convencido le perdonara la vida, a lo que el carretero responde:

“-Permíteme que tome un ejemplo de mi propia profesión –replicó el carpintero-. Al labrar una rueda, si doy demasiado suave, resulta demasiado blando el golpe y no hace mella; si al contrario doy demasiado fuerte, resiste, salta y no entra; ni demasiado suave ni demasiado fuerte tiene que ser el golpe. Tengo que darlo exacto. Por eso, palpo los rayos con las manos y los juzgo con el corazón. Hay en ello algo que no puedo expresar con palabras. No puedo enseñar esa sensación a mi propio hijo y así no puede aprenderla de mí. Por lo tanto, a los setenta años de edad todavía sirvo para hacer ruedas. Los antiguos perecieron hace mucho tiempo y eso que no podían comunicar pereció con ellos. Por lo tanto, lo que su majestad está leyendo no son sino las heces de los antiguos”

Al final, el duque le perdono la vida al carretero.

La teoría del caos, no pretende decir que la ciencia clásica esté equivocada, como sí que lo hace ésta a la inversa, sino tratar de explicar todos aquellos problemas que por su complejidad y aleatoriedad, fueron siendo descartados como objeto de interés para los científicos tradicionales; "lo complejo quedó fuera por caótico" (Escohotado, 1999: 34). Tal vez, el contexto cultural, social e histórico no permitía analizar tales fenómenos, ante la posibilidad de que se derrumbase un orden que aún se estaba levantando. Pero ahora, ya no vivimos en el mundo antiguo, nuestro contexto es distinto, y no podemos seguir acercándonos a la ciencia de la misma manera que se hizo antaño: "Democracia y ciencia moderna son ambas herederas de la misma historia, pero esa historia llevaría a una contradicción si las ciencias hicieran triunfar una concepción determinista de la naturaleza cuando la democracia encarna el ideal de sociedad libre" (Prigogine, 1997: 12).

También, vivimos en una sociedad cada vez más global, más intercomunicada; la coincidencia entre algunos planteamientos de la filosofía clásica china y la teoría del caos, puede tomarse como un reflejo de la coherencia temporal que ésta muestra; se rompen barreras antes inamovibles, ya no importa si el pensador es occidental o no, sólo si es humano. Esa misma coherencia la muestra al ofrecer una imagen de la ciencia no jerarquizada, donde unas disciplinas no tienen preferencia sobre otras (ciencias naturales y exactas VS ciencias sociales y humanas); en su lugar, ofrece una imagen de interconexión -reflejada en su evidente multidisciplinariedad e interdisciplinariedad- que coincide plenamente con el concepto de *red de redes*, más conocida como *Internet*, un fenómeno intrínsecamente contemporáneo cuyos efectos están aun por ver. En efecto, el mismo Prigogine nos ofrece una interpretación de la ciencia que se aproxima al aspecto de las redes neuronales o de la red de redes, pues su descripción de la naturaleza:

"no supone ninguna modalidad fundamental de descripción; cada nivel de descripción está implícito en otro e implica otro. Necesitamos una multiplicidad de niveles interconectados, ninguno de los cuales puede aspirar a la preeminencia" (Prigogine, citado en Briggs y Peat, 2005: 149; entrevista personal con los autores entre el 27-29 de abril de 1985).

Además, no hemos de olvidar el importante rol que juega la cultura material en este aspecto, pues la teoría del caos logró su reconocimiento gracias a los ordenadores y la informática, la cultura material e inmaterial contemporánea estandarizada.

Pero no sólo se trata de un corpus científico, sino también filosófico (realmente los libros de Prigogine, por ejemplo, son tanto divulgación científica como reflexión filosófica), y en ese nivel filosófico "la teoría del caos puede resultar reconfortante para quien crea que ocupa un lugar ínfimo en el cosmos" puesto que aspectos como el de la extrema sensibilidad a las condiciones iniciales o la disipación de la relación causa-efecto, nos demuestran que "las cosas más ínfimas pueden surtir un efecto enorme en un universo no lineal" (Briggs y Peat, 2005: 75).

Por último, se hace necesario hacer una caracterización general de la teoría del caos y la complejidad a fin de que se comprenda mejor, y también poder valorar de una manera más concreta el papel que puede jugar en las ciencias sociales y humanas. Sus características se podrían resumir en las siguientes:

- Estudio de sistemas dinámicos inestables (naturales o sociales) que muestran una extrema sensibilidad a las condiciones iniciales del mismo (efecto mariposa), los sistemas caóticos, y que se autoorganizan (realimentación).
- Disipación de la relación causa-efecto (una causa pequeña puede tener un efecto muy grande y viceversa; una multitud de causas pueden provocar un efecto homogéneo; una mínima causa puede provocar muchos efectos).
- No linealidad: búsqueda de explicaciones más complejas (problema de los tres cuerpos de Poincaré).
- Asimetría temporal e irreversibilidad del tiempo (pasado, presente y futuro juegan papeles distintos).
- Superación del antropocentrismo renacentista, pero recuperación de su eclecticismo: interdisciplinariedad y multidisciplinariedad, colaboración conjunta e interconectada de todo el cuerpo científico.
- Reflexión moral y ética sobre el papel de la ciencia, y sobre el contexto histórico y cultural en el cual esta se expresa.

Como señala Ilya Prigogine al epílogo de su obra *El fin de las certidumbres* (1997): "lo que emerge hoy es por tanto una descripción mediatriz, situada entre dos representaciones alienantes: la de un mundo determinista y la de un mundo arbitrario sometido al puro azar". Un mundo político determinista gobernado por

seres humanos y leyes humanas creadas en despachos y votadas en los parlamentos, los cuales siguen dando el visto bueno (o no) a una guerra, un mundo donde el hambre, la muerte y la destrucción siguen presentes de una manera u otra, un mundo donde, según dicen, la libertad de uno acaba donde comienza la de los demás; este mundo, esclavo de sí mismo, frente a un mundo natural azaroso, caótico, imprevisible, incontrolable...

El siguiente capítulo, trata sobre el fenómeno más complejo e imprevisible de todos, el humano.

3. LA COMPLEJIDAD DE LO HUMANO.

- ¿Quién eres tú?

No era ésta una pregunta alentadora para iniciar una conversación. Alicia, un poco intimidada, contestó:

-Pues yo..., yo, ahora mismo, señora, ni lo sé...Sí sé quién era cuando esta mañana me levanté, pero he debido de cambiar varias veces desde entonces.

-¿Qué quieres decir con eso?-dijo severamente la Oruga-. ¡Explícate!

-Me temo no poder, señora- dijo Alicia-, porque como ve, ya no soy yo.

-No veo- dijo la Oruga.

-Temo no poder exponerlo con mayor claridad -replicó muy cortésmente Alicia- porque, para empezar, ni yo misma lo comprendo.

LEWIS CARROL, *Alicia en el país de las Maravillas*.

Sucede con la historia humana como con la paleontología. Hay cosas que se tienen debajo de las narices y que las inteligencias más eminentes no las ven, en principio, debido a cierta *judicial blindness* (ceguera de juicio). Después, cuando comienza a lucir la aurora, viene la sorpresa de advertir que lo que no se había visto ofrece vestigios en todas partes. MARX A ENGELS (Londres, 25 de marzo de 1868), *Cartas sobre las matemáticas y las ciencias de la naturaleza*.

Los poderosos pueden estar bajo sospecha pero rara vez son condenados.

GEORGES BALANDIER, *El desorden*.

La oposición existente entre las ciencias naturales/exactas y las ciencias sociales/humanas, fomentada por el pensamiento científico clásico cae por su propio peso ante los principios de la teoría del caos. Hemos visto que no existe preeminencia de una disciplina sobre otra, ya que ambos tipos de conocimiento son imperantemente necesarios. Pero además, las características de la teoría del caos concuerdan muy bien con el proceder de las ciencias sociales. Un ejemplo sencillo aclarará más las dudas.

Nos encontramos en una facultad de historia de cualquier país. La profesora o el profesor, llega al aula. Hoy toca ver las "causas" de cierto suceso: la II Guerra Mundial, la caída del Imperio Romano, la aparición de la agricultura... ¿habrá una sola causa que provoque el efecto? Cualquier estudiante de historia sabe que no, pues en cualquiera de los tres ejemplos que se han puesto influyen a la vez causas políticas, económicas, sociales y culturales, sin que ninguna prevalezca sobre las demás. Es la suma, la conjunción de todo ese tipo de factores la que provoca el efecto. Así, en el origen de la II Guerra Mundial, influyeron a la vez el tratado de Versalles, la caída de la bolsa de 1929, el nacionalismo, el ascenso del fascismo, el miedo al comunismo... Hay varias causas independientes que provocan la aparición de un solo efecto, que además es siempre desproporcionado. Del mismo modo, tampoco hay que ser muy perspicaz para advertir la inestabilidad de los sistemas sociales o políticos, que pueden llegar a mostrar una extrema sensibilidad a sus condiciones iniciales.

En los primeros momentos de su nacimiento como gran urbe Roma sufrió un ataque galo el 16 de julio del año 387 a. C. Aún no constituía el imperio que después se iba a levantar, por lo que debió comprar su libertad a base de oro, lo que dio lugar a la célebre frase del jefe galo Breno *Vae Victis* (¡Ay de los vencidos!); Roma salió humillada del evento y la ciudad fue destrizada. Pero no olvidaría. Pronto comenzó una reconstrucción y una recuperación que la llevaría a adueñarse de la mayor parte de Europa; entre el 58 y el 51 a. C. César conquistaría las galias. Tras él, llegaría el Imperio. ¿Fue el orgullo herido de Roma tras su humillación ante los galos en su estado inicial lo que provocó su posterior conquista del mundo? Puede ser, porque ante todo, en las ciencias sociales y humanas es donde mejor encaja el concepto de probabilidad e incertidumbre.

Lejos de entrañar una evidente sencillez, las ciencias sociales se manifiestan más complejas debido a la gran cantidad de información que debe ser cuantificada, analizada y medida; de ahí que las hipótesis históricas, sociológicas o arqueológicas no puedan tomarse como verdades absolutas. ¿Cómo hablar de certezas u órdenes absolutos en los seres humanos si la propia naturaleza muestra un comportamiento azaroso, aleatorio y caótico? Nos guste o no, achacar el estallido de la II Guerra

Mundial única y exclusivamente a la mente criminal de Adolf Hitler es una explicación más bien pobre del suceso.

No podemos acercarnos a las ciencias sociales con una visión particularista del fenómeno estudiado, aislando una parte del fenómeno, sino que éste debe ser estudiado como un todo, primando más una aproximación estadística que individual, del mismo modo que propone la teoría del caos. Un todo interconectado, donde la más mínima perturbación en una de sus partes puede repercutir en todo el sistema. En cierto modo, las ciencias del caos muestran mucho parecido en su proceder que el que tradicionalmente han utilizado las ciencias sociales. El problema vuelve a residir en el imprevisible e incontrolable factor humano, pues al estudiar una economía, una nación, una mente o una cultura, "nuestro subsistema experimental se verá perturbado por influencias externas inesperadas e incontrolables" (Stewart, 1991: 59). La historia volverá a servirnos de ejemplo. Supongamos que un estudiante español de historia quiere llevar a cabo una investigación sobre el régimen dictatorial franquista; antes de comenzar su trabajo ya estará influenciado por ciertos hechos personales, como el bando al que pertenecieran sus abuelos y padres o sus propias convicciones políticas y morales. Pero además, el investigador tendrá que hacer frente a toda una marabunta de intereses políticos y partidistas en el presente que condicionaran su trabajo, hasta el extremo de llegar a perturbarlo. Los científicos del campo natural lo tienen más fácil en ese sentido, puesto que pueden aislar el fenómeno estudiado, eliminando las influencias externas, como hacen los astrónomos, que instalan sus observatorios en lo alto de montañas para verse libre de las influencias externas que representan las numerosas luces de las ciudades (ibidem). Así, la constante lucha contra las influencias externas "es lo que hace tan difíciles las ciencias sociales" (ibidem); más complejas, no menos científicas, como popular, pero muchas veces también académicamente, se suele pensar.

En las siguientes páginas, trataremos de ver el papel que puede desempeñar la teoría del caos en las complejas ciencias del ser humano y de la sociedad, ya que se presenta como un modelo teórico más que viable, reconociendo ante todo "las personas son más complicadas que las partículas" (Balandier, 2003: 10). Dado el amplio abanico de disciplinas que se encuentran en la gama de las ciencias sociales, se ha restringido el análisis a tan sólo unas pocas, como la economía, la historia, la antropología y el trabajo social.

3.1. EL MERCADO DEL AZAR.

Las fluctuaciones diarias que sufre el mercado mundial son un buen ejemplo de la disipación de la relación entre la causa y el efecto. ¿Quién provoca esas continuas bajadas y subidas?, ¿una persona, una empresa, una corporación? Más bien todas a la vez. Del mismo modo, podemos apreciar en el entramado bursátil global otra evidencia más de la interconexión a la que está sujeta nuestra época actual. El ejemplo más típico al que acudir es el *crack* que sufrió la bolsa de Nueva York el 24 de octubre de 1929, el *martes negro*, cuyas repercusiones se hicieron notar en las economías de todo el mundo, salvo la URSS, que se regía por otro sistema económico. Se trató, en esencia, de un "acontecimiento de extraordinaria magnitud, que supuso poco menos que el colapso de la economía capitalista mundial" la cual "parecía atrapada en un círculo vicioso donde cada descenso de los índices económicos reforzaba la baja de todos los demás" (Hobsbawm, 2004: 98). El resultado fue que por la caída de una sola de todas las causas que componen el efecto de una economía global, el resto se vieron tremendamente afectadas, viéndose envueltas las economías de estados tan distanciados entre sí espacialmente como Finlandia, México, Malasia, Nueva Zelanda o Gran Bretaña (ibidem: 99). Agricultores arruinados, empresarios endeudados, países al borde de la bancarrota...una perturbación en una de las partes provocaba un efecto en el sistema global, que daba muestras de un comportamiento caótico e imprevisible. Las crisis o depresiones bursátiles se han repetido cíclicamente, aunque siempre de un modo aparentemente aleatorio, casi sin avisar; una irregularidad que podemos apreciar en la fig 23. La última fue el 19 de octubre de 1987, el *lunes negro*, en el que la bolsa de Nueva York perdió un billón de dólares (Escohotado, 1999: 188), de la que aún hoy se siguen percibiendo los ecos. Además, las repercusiones de estas fluctuaciones y crisis se manifiestan también en otros campos, como el social, el cultural y el histórico, como si de una red de redes se tratase. Se pone otra vez de manifiesto el mimetismo del caos, al manifestarse tanto en lo orgánico como en lo inorgánico, tanto en lo microscópico como en lo macroscópico, tanto en lo natural como en lo humano...

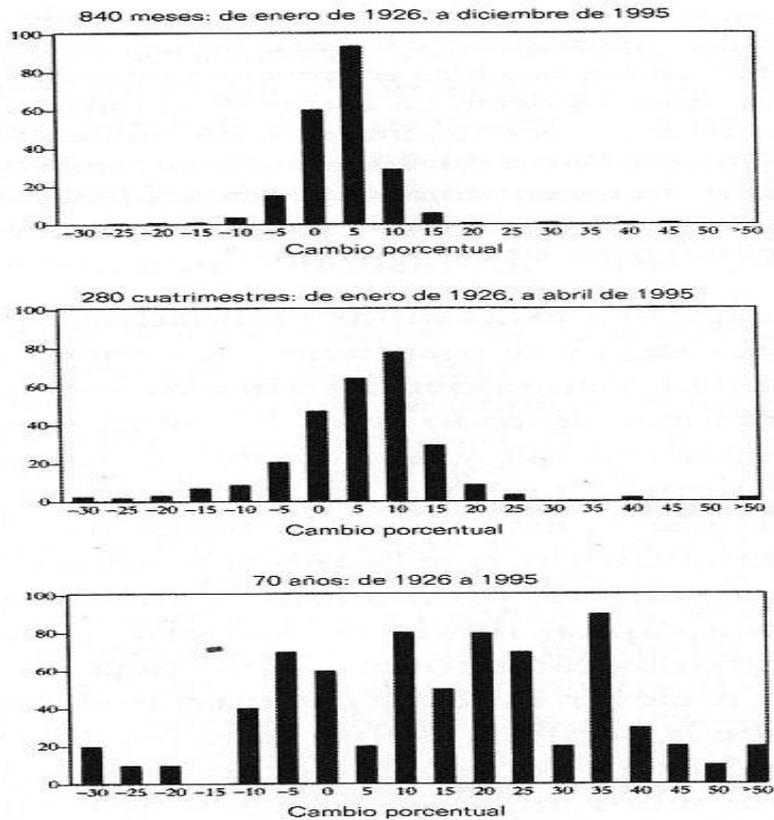


Fig 23. Fluctuaciones en el precio de las acciones de las 500 primeras empresas de Estados Unidos entre 1926 y 1996, en meses (arriba), cuatrimestres (centro) y años (abajo). Se dibuja siempre una curva fractal (Escohotado, 1999).

El mismo Mandelbrot, entusiasmado con sus descubrimientos iniciales con los fractales, usó los modelos de estos para seguir las irregulares oscilaciones bursátiles, elaborando falsificaciones tan reales que lograban engañar a muchos expertos (Briggs y Peat, 2005: 90). Los fractales de Mandelbrot, demostraron que “las grandes recesiones imitan las fluctuaciones mensuales y diarias de los precios, de modo que el mercado es autosimilar desde su escala mayor a su escala menor” (ibidem); es decir, el mercado capitalista funciona de manera parecida a escala global que a escala local, sigue el mismo tipo de pautas y comportamientos tanto en un mercado de barrio como en un mercado mundial, tanto a diario como anual, mensual o quinquenalmente. El sistema económico capitalista funciona de esta manera, está condenado por su propio mecanismo a sufrir crisis y recesiones cada cierto tiempo, pues “una economía mundial basada en el crecimiento continuo de todos los sectores, o aun de algunos sectores, está condenada a un eventual fracaso” (ibidem: 177). Se trata del desarrollo de una economía financiera que venía gestándose desde tiempo atrás, una economía multinacional y de megacorporaciones la cual “agiganta la figura de una ingeniería inversora que vende información y contactos” (Escohotado, 1999: 181).

Ese nuevo tipo de economía jugada por los *lobbys* de todo el mundo, exigía también cambios en la producción, que desde 1911 se regía por el modelo de la producción a gran escala ideado por el ingeniero norteamericano F. W. Taylor. Dicho modelo giraba en torno a la decimonónica idea de que el trabajador estándar es pasivo, másico y aislado, y que sólo puede optimizar su eficacia como mano obra mediante una tabla de incentivos y algunas leyes sobre el uso del tiempo y el movimiento en la fábrica, primando la idea de una sola acción por operario (ibidem: 337). Este modelo acibernético comenzó a abandonarse en los años cincuenta, cuando surgió uno nuevo en la mente del ingeniero jefe de Toyota, Taiichi Ono, llamado *sistema de producción flexible o ajustada*.

Mientras que el modelo de Taylor era jerárquico, pues sólo el jefe responsable o de departamento puede interrumpir el funcionamiento de la cadena, el toyotismo es un modelo autoorganizado, que tiende a desespecializar al operario con el fin de ampliar el número de funciones que pueda realizar y a delegar el proceso de toma de decisiones en él (ibidem: 339). Por ejemplo, en una fábrica de coches taylorizada hay especialistas que se encargan de instalar los troqueles de las prensas encargadas de estampar piezas, y otros que se encargan de manejarlas; Ono pensó que esa pausa era puro capricho y que el mismo operario podía realizar las dos acciones, con lo que redujo el tiempo para cambiar los troqueles y ponerlos a funcionar de nuevo de un día a tres minutos (ibidem). Esta nueva forma de entender la producción, alejada de la cadena de montaje clásica, era mucho más acorde con los postulados de Wiener sobre la autoorganización y la cibernética; “el riesgo básico al que hacía frente era apostar por la economía del caos frente a la del control unidireccional, convirtiendo a sus operarios en *kybernetes* autónomos” (ibidem). El resultado iba a ser que a finales de los 80, Toyota producía 4,5 millones de coches al año con 65.000 trabajadores, mientras que General Motors fabricaba poco menos de 8 millones con 750.000 trabajadores, once veces más que la marca japonesa; aún hay más, ya en 1987 la fábrica de Toyota en Takaoka invertía dieciséis horas y un trabajador por cada coche fabricado, mientras que la General Motors en Farmington necesitaba treinta horas y un trabajador (ibidem: 340). Parece que incluso en las asfixiantes y alienantes fábricas industriales, tan propias tanto del capitalismo como de la URSS, el caos hacía que las cosas funcionaran mejor.

3.2. LA ESPIRAL HISTÓRICA: TURBULENCIAS, PARADOJAS, AUTOORGANIZACIONES Y AUTOSIMILITUDES HISTÓRICAS.

Anteriormente, hemos visto de pasada como podría interpretarse la historia a partir del modelo ofrecido por la teoría del caos, ahora ha llegado el momento de profundizar un poco más en tal aspecto. Pese a lo que pueda parecer en un primer momento, al tratarse de una teoría nacida en el seno de las ciencias exactas y naturales, la teoría del caos tiene mucho que ofrecer a la historia. Puede existir cierto prejuicio disciplinar en el campo de la historia a tal posibilidad, dado que es sabido lo distintos que son los métodos usados en uno y otro campo, pero la teoría del caos no pretende convertir la historia en una ecuación, ya que respeta los métodos de cada disciplina. Ante todo, la ayuda que puede mostrar se refiere a un cambio de perspectiva, del punto de vista con el que nos acercamos a la historia, ya sea ésta cultural, social o política (Escohotado, 1999: 165):

“el paradigma de los órdenes caóticos mira de otra manera los despliegues de elementos y procesos que conducen hasta el hoy, unas veces –las más– en términos simplemente metafóricos, y otras permitiendo captar de modo semi-directo o directo las pautas primarias de transición” (ibidem: 132).

Tampoco en un primer momento la teoría de la evolución, nacida en el seno de la pura biología, parecía tener mucho que ver con la historia, y sin embargo nadie puede dudar hoy que las sociedades evolucionan históricamente. Muchos historiadores ensimismados en su profesión se negarán a reconocer que sus hipótesis respecto a tal o cual suceso histórico puedan estar influenciadas por sus respectivas convicciones (ya sean estas políticas o morales), pero lo cierto es que sí lo están; en un ímpetu positivista afirmarán que ellos hacen ciencia, y que sus tesis están basadas en datos completamente objetivos. Sin embargo, hemos de reconocer que siempre que nos acercamos a un problema histórico tenemos muchísimos más problemas en eliminar las influencias externas que los que tiene un físico cuántico cuando se acerca a un quark. También, podríamos actuar como los astrónomos, y marcharnos a una isla solitaria a escribir nuestros ensayos sobre un determinado momento de la historia humana, pero entonces estaríamos renunciando a mucha información de primera mano.

Bajo los auspicios de la teoría del caos hay que renunciar a las limitaciones, buscar causas más complejas que puedan ayudarnos a comprender mejor que pasó en una determinada fecha, deberíamos intentar evitar al máximo los lazos que nos unen al presente, e intentar colocarnos bajo la piel de los protagonistas que lo vivieron, profundizar en su personalidad y su percepción del mundo, a la vez que se

intentan atar ciertos cabos sueltos. La pregunta clave, alude una vez más a nuestras posibilidades al respecto, ¿podemos hacerlo realmente de ese modo?; si lo pensamos detenidamente, la respuesta debería de ser un rotundo sí. O, al menos, deberíamos intentarlo.

También, hemos visto de qué modo la disipación de la relación entre la causa y el efecto es un buen trasfondo teórico para comprender mejor aquéllos procesos que no tienen una sola causa, o aquéllos en los que una causa muy pequeña produce un efecto desproporcionado. Tampoco faltan los ejemplos para advertir en la historia cierto componente caótico e inestable. Parece necesario desprenderse de la idea de que cierto personaje histórico o pueblo estaba *destinado* a actuar del modo que lo hizo, de que estaba *determinado* a hacer lo que hizo; a la vez, debemos lanzar al mismo estercolero la *doctrina de la necesidad* y las *heces de los antiguos*, algo, por otro lado. Pero además, la formulación de la teoría del caos reforzó la idea de que las cadenas de desarrollo histórico cobran sentido una vez que ha sucedido el hecho y que los resultados finales no se pueden predecir, pues si las condiciones se repiten una y otra vez, cualquier alteración, por minúscula que esta sea, hará que la evolución sea totalmente distinta (Hobsbawm, 2004: 535); la teoría del caos otorgaba un enfoque cuyas consecuencias políticas, económicas y sociales están aún por descubrir (ibidem). En primer lugar, nos ocuparemos de un aspecto muy palpable en la historia y sus interpretaciones, la autosimilitud, tan propia de los fractales.

Un observador que contemple a la vez una pirámide maya, una egipcia y un zigurat sumerio pensará: "vaya, se parecen mucho, estos pueblos debían de ser muy similares". Sólo los que están muy familiarizados con la historia (por vía académica o gusto personal) saben lo dispares entre sí que son esas sociedades. No obstante es cierto que, como con los fractales, nos da la sensación de que todos se parecen mucho, pero no son lo mismo. Podríamos hablar de una faceta fractal de la historia, influida por un atractor extraño autosimilar que tiende a dibujarla y desdibujarla a su antojo, "¿será por eso que la historia parece repetirse y también parece no repetirse nunca?" (Briggs y Peat, 2005: 108). Un ejemplo actual nos ayudará a comprender mejor la autosemejanza que guarda la historia.

Al hablar de los Estados Unidos de América la palabra *imperio* suele aparecer en mayor o menor medida, y las comparaciones con el mayor imperio de occidente, Roma, no se hacen esperar. Sabemos que el orden social, político, cultural, económico, jurídico, etc, de ambos puntos de la historia es más que dispar y que no está sujeto a reversibilidad, pero no podemos dejar de apreciar cierta actitud en los Estados Unidos de querer llevar en sus manos el destino del mundo, como también

lo quiso Roma. Tal muestra de autosimilitud no es tan sólo una opinión, puede deducirse de datos históricos.

Vayamos a las condiciones iniciales de Roma, después de que los galos destrozaran la ciudad y ésta resultara humillada. La derrota sufrida por Roma llevó a que sus vecinos, volscos, ecuos o etruscos la miraran por encima del hombro y reanudaran las hostilidades contra ella; pero se recuperó. No sólo reapareció, sino que además comenzó una expansión que la llevaría a hacerse con todo el mediterráneo y buena parte de Europa. Tal expansión se desarrolló primero en el interior de la península itálica (guerras samnitas, 326-272 a. C.), para después extenderse hacia fuera (guerras púnicas: I 264-241 a. C, II 218-201 a. C.); la culminación llegó con César y su conquista de la Galia (58-51 a. C.), entonces... apareció el *imperio* (cfr. Blanco Freyreiro, 1988). Constatando cierta autosemejanza, la hipersensibilidad a las condiciones iniciales mostrada por los Estados Unidos parece también evidente, aunque en su caso no fue una derrota, sino una victoria. Así, por medio de una revolución independentista, las colonias británicas se transformaban en una nueva nación mediante una declaración de independencia promulgada en 1776. Podríamos preguntarnos si la guerra hace al imperio, y aunque no podamos achacarlo todo a la violencia institucionalizada que representa la conducta bélica, deberíamos contestar que, en gran parte, la guerra hace del imperio lo que éste es.

En este sentido, el orgullo herido de Roma tras su derrota ante los galos iba a resultar claramente autosemejante a la prepotencia norteamericana mostrada tras la independencia. Volviendo a los Estados Unidos, la guerra también forma y ha formado parte de su idiosincrasia política, así como la expansión fáctica de sus fronteras. Como Roma, la Confederación iba a extenderse primero por su territorio más cercano (la mitad del subcontinente americano), a costa de las poblaciones indígenas autóctonas, que vieron como eran echados de sus tierras por unos colonos exacerbadamente nacionalistas. En sí, este hecho no es una guerra, aunque sí implica un avance militar. No obstante, la guerra, olvidada a medias desde la independencia (hubo una segunda guerra contra Inglaterra entre 1812-1814), iba a aparecer otra vez como el resultado de unas ansias expansionistas. Así, con la llegada a la presidencia de James Polk en 1846 iba a comenzar la guerra contra Méjico, que acabaría de conformar la actual nación de los Estados Unidos (salvo Hawai y Alaska), mediante la pérdida por parte de la antigua colonia española de casi todo su territorio³⁶. Después, vendría su guerra civil (1861-1865), y más tarde la guerra contra España en 1898, que hizo a ésta perder su última colonia americana, Cuba. Con la llegada del siglo XX, Estados Unidos se asentaría

³⁶ Lo que hoy son los estados de Texas, Nuevo México, Arizona, California...

como primera potencia mundial tras su participación en la I Guerra Mundial (1914-1917), después vendría la segunda (1939-1945). Ni la primera ni la segunda guerra mundial supusieron un dominio militar de Estados Unidos sobre Europa, pero sí significaba una extensión de su influencia. Por eso mantiene una autosimilitud con Roma, porque parece lo mismo, pero no lo es.

Después de la II Guerra Mundial, el belicismo no iba a desaparecer de Estados Unidos, más bien se iba a incrementar en un primer momento, producto del enfrentamiento conceptual contra la URSS, primero a través de la guerra de Corea (1950-1953), después por la de Vietnam (1958-1975), y más tarde por la del golfo Pérsico (cfr. Jones, 2001). La última guerra desencadenada en Irak es también un efecto prolongado del enfrentamiento contra los soviéticos, aunque guarde razones profundamente materiales. Llegamos a la conclusión de que si la guerra forma una parte importante de lo que históricamente se conoce como *imperio*, podemos apreciar que la autosemejanza que muestran los Estados Unidos y la Antigua Roma, nos llevan a ver a aquél como una *nueva clase de imperio*.

Pese a que la *americanofobia* esté tristemente de moda, no es esa la intención con la que aquí se juega, pues la idea de achacar a un pueblo y una cultura las barbaridades de su cúspide de poder siempre me ha parecido burda. Los Estados Unidos han ofrecido mucho al devenir de la Humanidad, y dentro de su propia tradición existe también una corriente muy crítica con la actitud de los gobiernos que sobrepasaron la línea que separa a la libertad de la grosería. Sin ir más lejos, con motivo de la guerra e invasión contra México, el 11 de febrero de 1847, Thomas Corwin, un congresista norteamericano, se dirigía de la manera que sigue al Senado de los Estado Unidos de América, y al presidente de entonces, James Polk:

“Cada capítulo que escribimos en la sangre mexicana, puede cerrar el volumen de nuestra historia como un pueblo libre (...) Dímelo, te lo exijo – dímelo, díselo al pueblo americano, díselo a las naciones de la Cristiandad-¿ cuál es la diferencia entre tu Democracia Americana y el más odioso, el más aborrecible de los despotismos? (...) Tú puedes llamar a esto gobierno libre, pero es esa libertad y no otra, la misma que fue establecida en Babilón, en Susa, en Bactrana o en Persépolis. Sr Presidente, confío en que abandonaremos la idea, la detestable y bárbara noción, de que nuestra verdadera gloria nacional es ganar, o retener por el progreso o la habilidad militar, en el arte de destruir la vida (...) El capricho y la ambición del tirano han sido siempre la causa de la guerra inútil y sangrienta, mientras que

millones de sujetos han sido tratados por sus despiadados amos tan sólo como herramientas en las manos de quien sabe cómo utilizarlos”³⁷

Se percibe también un aspecto de autoorganización en las trece colonias en el momento de independizarse. Por efecto de varias realimentaciones sucesivas, en forma de agravios fiscales o llamadas al orden monárquico británico, las antiguas colonias iban a servir de ejemplo de autonomía e independencia. Algunos de los primeros presidentes de Estados Unidos, como Thomas Jefferson o George Washington rechazaron cobrar cualquier tipo de retribución por el desempeño de su cargo; Jefferson morirá pobre y obligado a vender su biblioteca (Escohotado, 1999: 294). Al mismo tiempo, se conjugaba esa libertad con un sistema esclavista, toda una paradoja, cara y cruz de una misma moneda. La historia, parece estar influenciada por una especie de atractor raro, extraño...que lleva a ésta a ser evolutivamente inestable, ya que encierra en ella las más arcanas contradicciones.

Otro ejemplo de autoorganización se observa en el juramento de los cantones suizos medievales, que en una fecha sorprendentemente tan temprana como el 1291 y de mano de poblaciones pastoras y cazadoras muy humildes, establece que los cargos públicos no son fuente de ingresos (ibidem); algo que se mantiene hasta la actualidad, ya que los cantones nombran cada dos años a cuatro cónsules que asumen por turno la presidencia de la Confederación durante seis meses. Además, tanto a ellos como al resto de cargos públicos, se les otorga una retribución que es la media de sus ingresos antes de ocupar el cargo (ibidem: 295). Esto, en absoluto impide la corrupción o la acumulación de riqueza, pero ya de por sí solo limita en cierto modo la desigualdad. Un mero prototipo de lo que puede ser otro modo de organizar a la sociedad, perdiendo verticalidad y ganando horizontalidad, dejando que ella sola, por sí misma, se autoorganice.

Con la revolución francesa, la historia del mundo cambió para siempre. Ya unos años antes se había producido la independencia de las colonias norteamericanas, como hemos visto, pero es a partir de los sucesos de Francia cuando el Antiguo Régimen se desestabiliza de verdad y cae progresivamente durante todo el siglo XIX, época también en la que nacen las ciencias del caos, con la aparición del problema de los tres cuerpos de Poincaré. No obstante, la aparición de los Estados Unidos de América se ha de entender como un elemento del mismo proceso. Tras la llegada de la era contemporánea, es decir la del liberalismo político y económico, la del comunismo y el anarquismo o la de la II Guerra Mundial, se instaura el modelo del Estado-Nación a escala planetaria, algo que en la actualidad es un proceso de

³⁷ Thomas Corwin en el Senado norteamericano, 11 de febrero de 1848. El discurso, así como el resto de actas del congreso y un sin fin de documentos y fuentes históricas, se puede encontrar en la página web de la biblioteca del congreso de los Estados Unidos de forma totalmente gratuita; <http://www.loc.gov/index.html>.

sobra consumado. Hasta el estallido de la guerra de independencia norteamericana o la revolución francesa, el Estado-Nación, que tiene sus orígenes en la era moderna, había convivido con la forma arcaica estatal del reino y el imperio, pero el Estado-Nación "es una especie de atractor doble, cuyo núcleo alberga otro sistema –potencialmente mucho más complejo y dinámico-, que pronto ofrece signos de querer universalizarse y sentar los principios de su propia autonomía, inaugurando así una era de revoluciones"; se produce el *parto del pueblo* (ibidem: 131-151), pues éste pasaba a ser el auténtico protagonista de la historia, y no los dioses, reyes o ciudades. Así, lo que sigue a la revolución francesa es una lucha permanente entre un viejo mundo que muere y otro que intenta brotar, incluso perceptible aún en la actualidad. Como el atractor de Lorenz, la historia parece atrapada entre el espejo y el reflejo.

Lo que sigue a la revolución francesa es una sucesión aleatoria y asimétrica de procesos de cambio irreversibles, con continuas alternancias entre el caos (revolución) y el orden (el sistema político en cuestión), algo que recuerda el aspecto gráfico de la bifurcación de May, con explosiones de criticalidad que después tornan al orden. Además, esto es autosimilar en todas las escalas, tanto en la continental, como en la mundial o la nacional, incluso la provincial. El proceso había saltado a América, donde las antiguas colonias del Imperio Hispánico se iban a independizar de España, siguiendo el ejemplo iniciado por los Estados Unidos. También, en España, comenzaba el lento proceso que debía derribar al Antiguo Régimen, con la proclamación de la constitución de 1812. Europa, vivía la vuelta del orden de manos de Napoleón, detrás del cual acaecerían las revoluciones nacionales que conformarían el abanico europeo de naciones; a la vez en América nacían nuevos países de las cenizas del poderío español.

Sin embargo, no era un juego entre dos contrincantes (Europa) y (América), y el atractor extraño que representa el Estado-Nación iba a extender su influencia al resto del mundo, en forma de un nuevo imperialismo colonial, plantando la semilla de lo que después se convertiría en el Tercer Mundo. La caída del Antiguo Régimen en el Viejo Mundo, exigía que la anciana guardia mundial cayera a costa de instaurar un nuevo orden liberal, en lo político y en lo económico. Como en el conjunto de Mandelbrot, todo comenzaba a parecer estar interconectado por pequeños filamentos que conducen continuamente a algo que parece lo mismo, pero no lo es, que nunca es igual y nunca es distinto.

De una forma casi fugaz, comenzaron a brotar nuevas formas de caos, que trataban de imponer un orden más vanguardista aún cuando ni siquiera el nuevo liberalismo había derribado al Antiguo Régimen. En 1864 surge la I Internacional, agrupación encabezada por una coalición inicial de socialistas, comunistas y

anarquistas, que pronto, tras las desavenencias entre Marx y Bakunin, pasaría a prescindir de éstos últimos, quienes habían querido ir más lejos y hacer desaparecer por completo al orden, al Estado. Sus principios de igualdad y de libertad eran autosemejantes a los del liberalismo, pero pretendían ir más allá. La misma fractalidad conduce a la aparición del fascismo, una enfermedad cuya etiología parece estar en el proceso que se inicia en la Francia de 1789. El fascismo era una mezcla de tradición y modernidad, algo tan aberrante que sólo podía conducir a un desastre mundial, que iba a ser una peor matanza que la de la Gran Guerra de 1914. Es curioso percibir la autosimilitud en todas las escalas, siendo el pueblo el protagonista en todas partes del globo: el pueblo alemán llevó a Hitler al poder, desde el que éste llevaría a la práctica sus desviaciones morales y políticas; el pueblo ruso derribo al zar, tras lo cual llegaría una nueva autocracia soviética; el pueblo, el pueblo, el pueblo... Mao Tzetung lo tenía muy claro al presentar la constitución China de 1949:

“El poder político del pueblo exige fortalecer el aparato del Estado del pueblo, que se refiere primariamente al ejército del pueblo, la policía del pueblo y los tribunales del pueblo, para defensa de la nación y para proteger los intereses del pueblo” (citado por Escohotado, 1999: 133).

Con Hitler, Stalin y Mussolini, todos ellos órdenes precedidos de un caos, bien en forma de revolución bolchevique o marcha sobre Roma, o a través de un proceso de toma de las calles y paramilitarismo nazi que condujeron a una victoria electoral, el pueblo parido en la Francia revolucionaria había crecido, transformándose en el siglo XX en una masa pusilánime, en manos del más eficaz de los vocingleros. Comienza entonces la *paradoja revolucionaria* (ibidem: 153-167), o cómo traicionar al pueblo, convirtiéndole en esclavo. De sobra es conocida la masacre ideada por Hitler en sus más oscuras noches en vela, pero en la URSS, también se sentían las ansías de eliminar la individualidad, y las intenciones no eran menos amorales. Así, en las famosas purgas de Stalin (1936-1938) se juzgó a los revolucionarios más admirados por el país, con gloriosas hojas de servicio a la causa, prisión zarista y heroicos comportamientos en la guerra civil (ibidem: 148). Vychinsky, el fiscal jefe, iniciaba el proceso así:

“El pueblo exige una sola cosa: que los traidores y espías –que han intentado pisotear las flores más perfumadas de nuestro jardín socialista– sean fusilados como perros sarnosos, sin excepción” (Broué, 1969, citado por Escohotado 1999: 148).

De lo que se trataba era de provocar una higiene mental o lavado de cerebro, que:

“aunque emplea algunos suplicios tradicionales (interrogatorios interminables, drogas creadoras de malestar o estupor, descargas eléctricas, golpes que no dejan huella, amenazas a los seres queridos, aislamiento en condiciones atroces...), es ante todo un vigoroso instrumento de propaganda, que aprovecha la disociación interior provocada por una adhesión sincera al proceso revolucionario” (Escohotado, 1999: 148).

Tal infamia es muy propia de los sistemas totalitarios, pero en general, la influencia del atractor extraño que mueve la política y el poder se manifiesta en todos los sistemas y praxis políticas, aunque algunos de ellos, como el capitalismo disfrazado de libertad, buscan formas más sutiles y menos violentas de forzar la adhesión. En este sentido, el partido político no difiere mucho de la secta o sociedad secreta (Escohotado, 1999; Balandier, 2003); de hecho, las logias masónicas fueron la salvaguarda liberal en sus primeros tiempos de lucha contra el absolutismo. Un ejemplo muy claro de este lavado de cerebro lo encontramos otra vez en la URSS, en el caso de Antón Ciliga, un extranjero que trabaja allí por puro altruismo y admiración hacia la revolución rusa y el gobierno soviético. Éste, le pidió que se acusase de sabotaje para justificar fallos en los planes quinquenales pese a que se sabía que no tenía nada que ver con aquello; el comisario político le dice:

“Si apoya la revolución, como pretende, demuéstrela con sus actos: el Partido necesita su confesión” (Arendt, 1998, citado por Escohotado, 1999: 148).

Tras la II Guerra Mundial, concluida desastrosamente por el lanzamiento de la bomba atómica y la partición de Alemania, volvería un período de orden, al menos para occidente, sin embargo, el caos parece escupirse hacia el resto del globo ajeno al primer mundo. En África, en América, en Asia, aparecen guerras y conflictos provocados por la llegada de la bifurcación occidental, que los absorbe y los engloba en una sociedad cada vez más planetaria. También, en Europa, Estados Unidos, Canadá o Australia se vivieron épocas convulsas que se tradujeron en algún cambio del orden social, como el ejemplo paradigmático de mayo del 68, lo que nos muestra la convivencia que se establece entre el caos y el orden. Así hasta

llegar a la actualidad, donde el orden y el caos continúan con su peculiar relación, a veces mal llevada, a veces fructuosa.



Fig 24. Autosimilitud histórica: arriba, Mussolini, Hitler y Stalin; abajo, desfile fascista y desfile soviético.

Actualmente disfrutamos una etapa de aparente orden, y parece que las cosas no puedan ir mejor, pero sólo han pasado sesenta y dos años desde el final de la II Guerra Mundial. Además, el caos no se esconde y sigue impregnándolo todo, en una época donde la ideología dirigida y la anulación de la personalidad pretenden engatusar a la autoorganización, la autonomía y la individualidad. Entre empresas carroñeras y nuevos grandes hombres disfrazados de profetas, se instaura una *cleptocracia planetaria* articulada en forma de clase política (Escohotado, 1999: 247); un tiempo en el que a uno le empiezan robando la justicia, continúan birlándole el dinero y acaban por arrebatarse el alma. Un contexto histórico en el que confiar en una u otra tradición política es poco menos que ingenuo.

La superación de las influencias externas que representan las demarcaciones políticas en el estudio de la historia, pueden llevarnos a comprender mejor, a

acercarnos de un modo más probable y no de certidumbre, toda la complejidad que ésta encierra.

3.3. PSICOANÁLISIS, ANTROPOLOGÍA, SOCIEDAD...CON EL CAOS DENTRO³⁸.

Aunque Sigmund Freud seguía manteniendo un espíritu positivista y reduccionista (Briggs y Peat, 2005: 146), sus ideas acerca del inconsciente y el descubrimiento de que la personalidad comienza a formarse en la niñez, rezuman también cierta consonancia con la teoría del caos, puesto que los seres humanos mostramos una extrema sensibilidad a nuestras condiciones iniciales, es decir en nuestra niñez. La gente suele quedarse con la falsa idea de que un trauma infantil significa sólo haber sufrido cualquier tipo de abuso (sexual o físico), mas cualquier golpe, accidente, castigo o situación vividas por una persona siendo niño o niña, pueden crearle cierto tipo de neura en su etapa de adulto a través de realimentaciones sucesivas; un problema se enlaza con otro: un accidente se enlaza con una decepción, una decepción con un desengaño, un desengaño con un miedo...por el dolor y la perturbación que suponen, normalmente se trata de recuerdos inconscientes que el yo ha sepultado en los rincones más inhóspitos de la mente de cada uno. De ahí que algo muy común cuando una persona acude por primera vez a un psicólogo sea que éste le pregunte si su madre tuvo problemas durante el embarazo. En el caso más extremo y actual, parece muy útil el dato de que en una parte considerable de los casos de violencia doméstica que suelen acabar en tragedia, el agresor en cuestión había sufrido malos tratos, ya sean verbales o físicos. Tal vez podría haberse evitado con una infancia -con unas condiciones iniciales- diferente, que llevaran al sistema mental a estabilizarse y autoorganizarse, y no a trastornarse; aunque en este problema influyen infinidad de factores. Del mismo modo, el método inventado por Freud para tratar de llegar a nuestras condiciones iniciales, reveladas en forma de recuerdo, tenía cierto componente de caos y azar. La técnica en sí consistía en una libre asociación de ideas, en la que él o la paciente se tumbaba en el famoso diván y comenzaba a dejar fluir libremente sus recuerdos, saltando de uno a otro sin ninguna conexión aparente, como una ecuación no lineal que abre nuevas soluciones a cada paso. Así tomó forma una escuela psicológica, el psicoanálisis, que pese a estar muy devaluada en el ámbito de la psicología -aunque en países como Argentina sigue teniendo mucho peso- sigue mostrando un enorme atractivo. El inconsciente no se ha podido localizar físicamente en el cerebro pero tampoco nadie duda de su

³⁸ Esta observación acerca del psicoanálisis en relación con la teoría del caos es pura intuición, puesto que el autor no ha constado una referencia directa en las fuentes utilizadas, aunque sí algunas indirectas (Briggs y Peat, 2005: 146; Prigogine y Stengers, 2004: 341 y Gell-mann, 1995: 95-96).

existencia y de su importancia. Lo más curioso de todo es que Freud nació sólo dos años después que Henri Poincaré, el padre del caos moderno.

A la luz de la teoría del caos, podemos acercarnos también al ámbito antropológico y sociológico, como algún conocido antropólogo y sociólogo ya ha hecho (Balandier, 2003). Dado que para la teoría del caos, la ciencia ha perdido todo afán de extraterritorialidad teórica y cultural y que sus proposiciones no son separables del medio en el que son enunciadas (ibidem: 40), se nos revela muy atractivo aplicar el paradigma entrópico a la antropología y la sociología. Así, la antigua lucha entre el caos y el orden, puede percibirse también en las sociedades de la tradición a través de la oposición entre religión y brujería, pues ésta última “designa al desorden oculto en toda sociedad, lo manifiesta por los efectos que produce, lo utiliza y lo desarrolla; se constituye según el orden que quiere destruir” (ibidem: 104); el brujo, como el caos, vive en la sociedad, pero también está separado de ella, y la brujería muestra lo que no conocemos, lo que no comprendemos, las fuerzas no civilizadas y nos revela la presencia de un azar invidente y un desorden que no se puede reducir (ibidem: 106-107).

Pero el desorden también se puede traducir en orden en las sociedades aindustriales, manifestándose a través de distintas tradiciones. Un ejemplo nos lo muestran los Balante de Guinea-Bissau, que ofrecen maneras distintas de negociar con el desorden, dejando que su orden tradicional se invierta, dando paso al caos. Los Balante son una sociedad de tipo gerontocrático, donde los jóvenes están, por tradición, subyugados a las decisiones de los mayores, de los antiguos. Pero en el período de iniciación de los hombres jóvenes, el orden social se revierte, y los futuros adultos: “disponen entonces de un poder que les permite no perdonar a nada ni a nadie, dar libre curso a las conductas agresivas, escandalosas, obscenas, exaltar la fuerza de su juventud, exigir regalos y afirmar una breve inmunidad”; ni el incesto, ni la violación ni el adulterio son obstáculos que se oponen a estas pulsiones, de las que debe salir una generación nueva que se somete a un orden reavivado por el caos (ibidem). Sin embargo, este aspecto de la inversión no se manifiesta sólo en los omnipresentes hombres, y en otras sociedades donde el mito proclama el orden mundial, las mujeres gozan de momentos en los que pueden convertirse en lo que, por tradición, nunca pueden ser, mostrando a la vez su aspecto de orden -carga de la reproducción y la producción de alimentos- y de caos -quebrando los usos prescritos e invirtiendo mediante el drama un orden que las hace inferiores y subordinadas- (ibidem: 123). Así sucede en la sociedad de los Mandenka de Senegal, que acentúan la función de inversión ligándola a un principio de incertidumbre sexual; la mujer, puede entrar en un rol masculino con componente sexual (ibidem). Esto se hace evidente en dos situaciones

tradicionales. En la primera, cuando comienza la estación de las lluvias y se honra a las divinidades de la tierra y la fecundidad, las mujeres mandenka niegan toda obediencia a los hombres, a quienes agraden verbalmente, siendo esta alteración del orden establecido el modo en que ellas afirman su supremacía para reproducir (fecundidad) y producir (tareas agrícolas); la segunda es más reveladora, y se produce durante la fiesta de los ñames salvajes, en la cual las mujeres mandenka "practican una danza de provocación de los hombres, eligen libremente a sus compañeros, se entregan a una orgía de palabras y gestos y repiten en coro cantos obscenos que exaltan los *abultados senos* en detrimento de las *enormes vergas*" (ibidem: 124). En ambos casos, "lo femenino prevalece sobre lo masculino" (ibidem), invirtiéndose el orden social por efecto de un caos primordial.

Pero en antropología no es necesario acudir únicamente a las sociedades de la tradición, y en muchas fiestas contemporáneas con un origen antiguo también se manifiesta ese revertimiento del orden social, como el carnaval. Aquí, los disfraces y las máscaras se entienden como miles de causas distintas, cada una con una apariencia diferente, que representan un desorden evidente. En concreto, en Brasil, el carnaval "reemplaza el día por la noche y el recinto privado por la calle abierta a las miradas y propicia el azar" (ibidem: 121); bajo el anonimato que produce la máscara no hay clases sociales, pues el carnaval "conmociona los ordenamientos sociales a merced de los encuentros y la conjunción insólita de los personajes imitados; crea una comunidad lúdica efímera donde todo se hace posible, donde las jerarquías y las convenciones de la vida diaria se disuelven" (ibidem). Se ha puesto el ejemplo actual brasileño, pero los carnavales han existido desde tiempos medievales, y su significado antropológico parece haber sido siempre el mismo.

Desde un punto de vista sociológico, el desorden es manifiesto en la sociedad contemporánea, expresando la incertidumbre, tan propia del caos, la ambigua relación que el ser humano mantiene con su ambiente y con su propia naturaleza (ibidem: 165). Esa ambigüedad se expresa a través de la violencia que aún impera en nuestra época actual, tal vez legado de un origen de la contemporaneidad netamente convulso en todos sus ámbitos, desde el político al económico, desde el social al psicológico. Así, siguen existiendo guerras que se camuflan de justicia y libertad, y renace una violencia terrorista que no tiene ojos para el inocente, quien se ha visto salpicado por los trapicheos y las inmoralidades de las altas esferas mundiales; niños, hombres, mujeres, niñas, pobres, ricos, blancos, negros, cristianos, musulmanes... todos se ven afectados por alguno de los dos tipos de violencia, bien a través de la masacre legal (guerra) o la ilegal (terrorismo); una violencia que "jamás ha sido expulsada del horizonte humano" y cuya transformación, desde nuestros primeros tiempos hasta hoy, "se encuentra en los

relatos relativos a los orígenes del poder político" (ibidem: 188). Se asemeja la violencia a una enfermedad que se propaga mediante pasos bifurcativos, como el SIDA, una de las mayores plagas que sufre actualmente la Humanidad, y cuyos orígenes son tan oscuros como los del propio poder. La violencia, como el SIDA, llega a todas las casas, a todos los hogares, a todas las almas y a todas las clases, un ejemplo más de que cada día que pasa, el mundo es más global, más intercomunicado, más fractal... un mundo que cada vez se va pareciendo más en todas sus escalas, pero que a la vez se fracciona continuamente; un mundo en el que la reconciliación sigue siendo el anhelo más esperado.

El consumo de drogas, ya sean estas legales o ilegales, también preocupa, y mucho, desde el punto de vista sociológico. ¿Cómo se expande, cómo se puede controlar, cómo se puede atajar? Sin entrar a debatir sobre el valor del prohibicionismo como arma ineficaz para prevenir las catástrofes que puede asociar la droga, valga decir que tanto el alcohol como el tabaco son buenos desencadenantes de muertes y desestructuraciones sociales o familiares y, sin embargo, ninguno de nosotros y nosotras vemos al regente de un bar o un estanco como a un traficante. Como problema social, el consumo de drogas puede ser abordado desde el planteamiento de la teoría del caos, como realmente ya se ha hecho. Así, a un equipo multidisciplinar formado por arqueólogos, físicos y psicólogos, que reunía a expertos en la teoría del caos y las drogodependencias (Alcalde, Alonso y Velázquez, 2003) la Xunta de Galiza le encargó un proyecto para abordar el problema de la difusión de las drogas desde un punto de vista diferente. Así, se planteó la cuestión de que en el problema de las drogas hay "gran número de variables implicadas" y una "falta de certeza acerca de las relaciones de esas variables". Entran en juego el "tipo de relaciones" (individuo consigo mismo, con los otros, con la sociedad, con la naturaleza...), "la interacción entre las características individuales, la experiencia afectiva y el efecto farmacológico, la calidad de vida, los conflictos de la infancia, cierta predisposición genética o la disponibilidad de drogas y la influencia de ésta sobre los ritmos biológicos"; una multitud de causas producen un efecto. Debido a los resultados poco concluyentes que la Xunta había obtenido con anteriores investigaciones, basadas sobre todo en la estadística, decidió probar el nuevo método ofrecido por la teoría del caos.

Galicia, a través de la Xunta, dispone de centros sanitarios en todos los municipios que constituyen la comunidad autónoma en los cuales se atiende a las personas que consumen o han consumido drogas, y el equipo multi e interdisciplinar utilizó los datos correspondientes al "número de personas atendidas en cada centro de asistencia durante los años de 1986 y 1993", para localidades encuadradas en distintas áreas de salud. A su vez, cada una de estas áreas está

relacionada con una gran ciudad de Galicia. El caso de Santiago de Compostela, con 45 localidades, nos servirá para empezar a observar en el consumo de drogas una dinámica caótica. Con los datos, se realizó una gráfica tridimensional (fig 25) que mostraba la evolución espacio-temporal del número de personas atendidas en los centros sanitarios pertenecientes al área de Santiago de Compostela. Las conclusiones extraídas del análisis fueron básicamente cuatro:

1. El número de personas atendidas aumenta con el tiempo, para todas las localidades, independientemente de su distancia a Santiago de Compostela.
2. El mayor número de personas atendidas corresponde a Santiago de Compostela. Éste número disminuye para localidades situadas hasta 30 km de Santiago de Compostela y aumenta en localidades distantes entre 30 y 50 km de Santiago de Compostela.
3. Este aumento puede entenderse si se tiene en cuenta que la distancia del lugar de residencia a Santiago (la ciudad más grande del área y en la que es más fácil obtener drogas) es un factor importante cuando un usuario de drogas decide el lugar de consumo.
4. Si la distancia es muy grande, el usuario prefiere no desplazarse y tiende a consumir en su lugar de residencia, con lo que se favorece la creación de nuevas infraestructuras de venta de drogas.
5. Por tanto, se constata la presencia de procesos dinámicos, tanto espaciales como temporales, que influyen en el número de personas atendidas en centros de asistencia.

Tal comportamiento puede ser modelado matemáticamente usando ecuaciones diferenciales en el tiempo y en el espacio dado que se trata de un proceso de reacción-difusión, y la similitud mostrada con la figura real, sugiere cierto grado de autoorganización en el consumidor de drogas (fig 25). Además, se relacionó el número de pacientes admitidos a tratamiento por consumo de drogas en cada centro sanitario con el número de población total de cada localidad, llegando a la

conclusión de que evoluciona de manera similar a una ley potencial³⁹, la *ley de zipf*, la cual "describe el crecimiento de las ciudades y los asentamientos prehistóricos y humanos". El número de admisiones crecía a la vez que la población, algo que es evidente.

Sin embargo, no es tan normal que lo haga en forma de ley potencial, como la de Zipz. Dado que no varía en ninguna de sus escalas, cualquier ciudad sirve como ejemplo. Escogiendo Vigo, se calculó la tasa de admitidos por cada 10.000 habitantes y se representó gráficamente, siendo el resultado muy parecido al de un fractal muy famoso conocido como *escalera del diablo* (fig 26). Puesto que la autosimilitud a cualquier escala es manifiesta, al establecerse una relación entre el gráfico obtenido y una figura fractal, se pueden comparar los distintos centros en cualquier etapa temporal, llegando a la conclusión de que existen diferencias en la forma de actuar de cada centro (se toma como ejemplo el centro de La Coruña y el de Noia), algo que no se podía haber hecho mediante el uso único y exclusivo de métodos estadísticos, que son los que se suelen aplicar al consumo de drogas.

Como los autores reconocen, el estudio no aumenta la eficacia de los tratamientos o el funcionamiento de los centros de asistencia, pero señala que en el consumo de drogas y en el funcionamiento de los centros de asistencia sanitaria encargados de tratarlos existe autoorganización, lo que implica "asumir que puede no existir una dirección clara, ni jerarquización dentro del conjunto de pacientes". Los centros sanitarios y la propia dinámica del consumo de drogas guardan cierto componente caótico, que hace que "en virtud del efecto mariposa, pequeñas ideas o inquietudes que surgen de una persona, acaben llegando al resto de pacientes". El *descubrimiento* es que los centros sanitarios encargados de tratar a los consumidores de drogas, deben comprender la propia dinámica caótica y autoorganizativa del proceso, y flexibilizarse ante las innovaciones a la vez que se coordinan en las actividades.

³⁹ Las leyes potenciales se dan en procesos complejos, donde se da una criticalidad autoorganizada, reflejando la ausencia de una escala natural en la dinámica implicada; el comportamiento es invariante ante cambios de escala y puede ser descrito mediante fractales (Alcalde, Alonso y Velázquez, 2003).

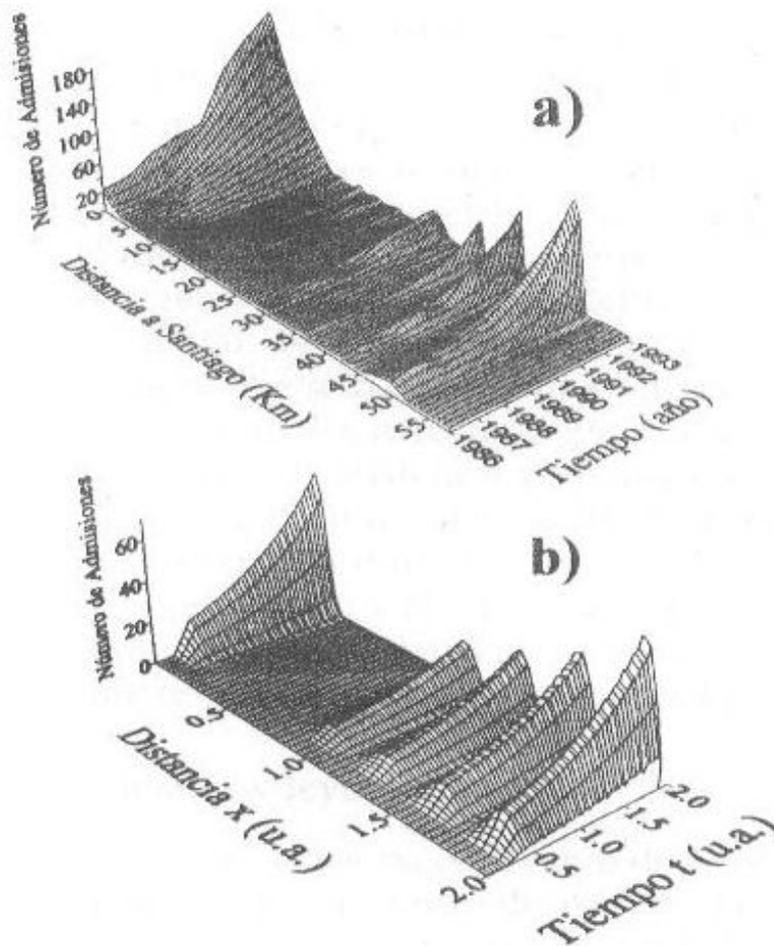


Fig 25. a) Evolución espacio-temporal del número de pacientes en distintos centros de asistencia situados en localidades cercanas a Santiago de Compostela, b) simulación mediante un modelo de reacción-difusión (Alcalde, Alonso y Velázquez, 2003).

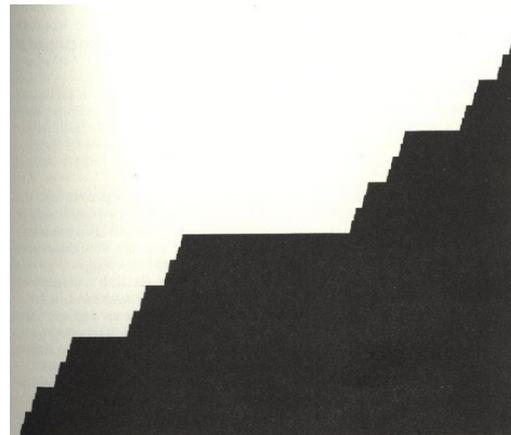
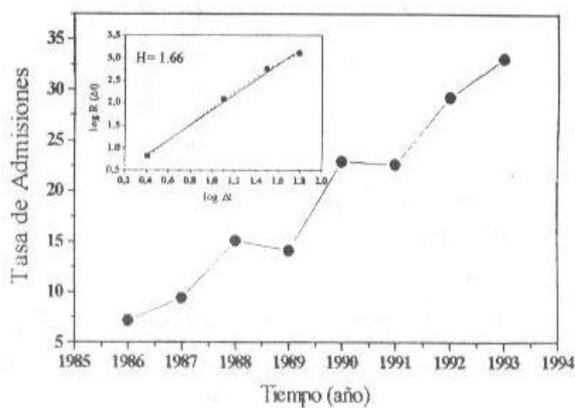


Fig 26. Tasa de admitidos a tratamiento (por 10.000 habitantes) en Vigo (izquierda, Alcalde, Alonso y Velázquez,) y su parecido con la *escalera del diablo* (derecha, Mandelbrot, 2003).

Como final a este segundo epígrafe de la primera parte del trabajo, relativo a la aplicación de los descubrimientos del caos y la complejidad en las ciencias sociales,

se sintetiza un anexo en el que se valora la influencia de dicha teoría en el arte, donde se hará especial hincapié en el cine, una manifestación artística típicamente contemporánea.

-ANEXO II: La vanguardia artística: pintura, música, cine...

Las bellas artes, pueden tomar otro aire a partir de la teoría fractal, ya que el arte tradicional (como la escultura o la pintura) normalmente se concibe a partir de formas idealizadas de la geometría euclidiana. Además, han surgido nuevas técnicas de creación artística en la pintura (fig 27) en la que se vuelca pintura sobre un lienzo y se deja que esta corra aleatoria y caóticamente. Pero además, la belleza manifiesta de los fractales ha hecho que estos se conviertan en todo un ejercicio de recreación artística, elaborándose a partir del método inventado por Mandelbrot formas realmente asombrosas, de las que podemos ver algunos ejemplos en la figura 28. En la música, también han encontrado eco los fractales, y mediante una serie de programas informáticos que iteran ecuaciones a las que se ha añadido cierto tipo de sonido, se genera música fractal, en la que melodías y sonidos independientes acaban formando una pieza extraña, de sonido oscuro y enigmático⁴⁰. Así, existe un compositor, Gary Lee Nelson⁴¹, que se ha dedicado a componer piezas musicales fractales con mucho éxito; se ha incluido la obra de Gary Lee Nelson y alguna otra composición de música fractal en el cd adjunto a este trabajo; pero hemos de resaltar dos especialmente, una llamada *Fractal Mountains* (audición 1) y *The voyage of the Golah Iota* (audición 2). En esta última, Gary Lee Nelson, imagina, de una manera musicalmente metafórica, un hipotético viaje de una galera fenicia desde el mediterráneo hasta Brasil. Del mismo modo, se ha investigado la fractalidad de ciertas composiciones clásicas de Bach o Beethoven. Este tipo de música, parece una banda sonora ideal para los procesos que trata de comprender la teoría del caos.

Sin embargo, nuestra atención se va a focalizar brevemente en un arte más contemporáneo, el cine, en el cual podemos referenciar la presencia del caos bien a través de la divulgación, como en *Parque Jurásico*, bien observando en la construcción de películas nuevas técnicas cinematográficas o posiciones a la hora de narrar historias audiovisualmente. Comenzaremos con *Parque Jurásico*, por ser de las primeras cronológicamente, y por ser un fiel reflejo de lo que es la teoría del

⁴⁰ Juan Antonio Pérez Ortiz: *Música fractal: el sonido del caos*, 2000, Universidad de Alicante Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos (www.dlsi.ua.es/~japerez/pub/pdf/mfsc2000.pdf).

⁴¹ Gary Lee Nelson: *Real Time Transformation of Musical Material with Fractal Algorithms* (timara.con.oberlin.edu/~gnelson/PapersPDF/GNfract.pdf).

caos, como ya hemos tenido oportunidad de comentar en la introducción de este trabajo.

En *Parque Jurásico I* (existen otras dos partes de una marcada peor calidad cinematográfica), basada en la novela homónima del escritor de best-sellers, pero excelente divulgador científico a través de sus libros, Michael Crichton, abundan las referencias a la teoría del caos, ya que uno de sus protagonistas, Ian Malcom, es un científico del caos. Antes observábamos una especie de introducción sobre lo que representa la teoría del caos, pero en la película, se repiten muy a menudo, sobre todo en la primera parte del metraje. Así, una vez en la isla, los científicos se disponen a dar un paseo por el zoo jurásico que el gran multimillonario John Hammond ha construido, introducidos en unos coches eléctricos. Cuando ya llevan un rato, y ven que en la zona del tiranosaurio, éste no aparece, Iam Malcom comenta:

-El tiranosaurio no obedece a ningún sistema fijo ni de horario de embarque, es... la esencia del caos.



Fig 27. Bosque e Invierno, dos obras realizadas mediante una técnica caótica (<http://usuarios.lycos.es/teoriadelcaos/>).

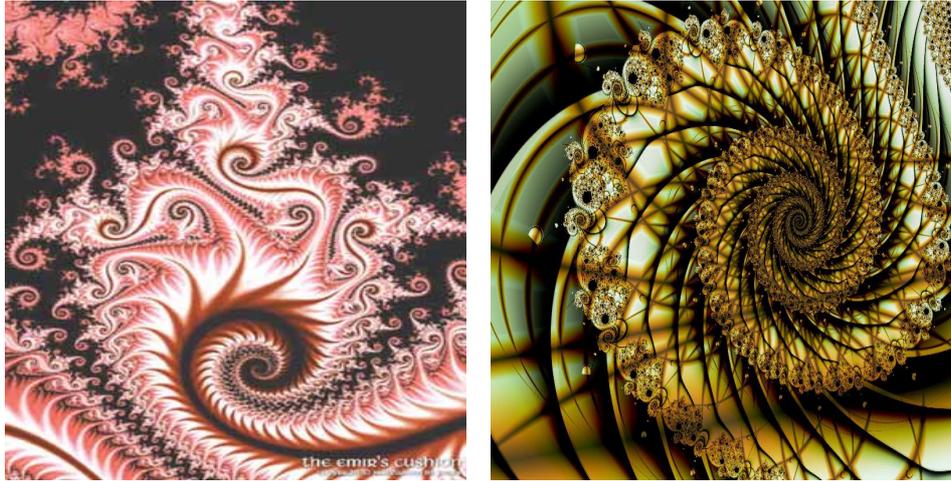


Fig 28. Algunas muestras de arte fractal, conseguidas a través de diversas páginas web.

Inmediatamente, la dra. Sadler, que ya no puede resistir su curiosidad, le pregunta:

-No entiendo eso del caos, qué...significa.

-Simplemente se trata de la imprevisibilidad en sistemas complejos –contesta Malcom, quien rápidamente continúa- Se resume en el efecto mariposa; una mariposa bate las alas en Pekín y en Nueva York llueve en lugar de hacer sol.

Impresionada ante tal respuesta, la dra. Sadler hace un gesto entre que no lo ha entendido muy bien o que se ha quedado alucinada. Pacientemente, Iam Malcom, continúa con su explicación:

-¿Voy demasiado deprisa?, vale un momento, déme ese vaso de agua, hagamos un experimento. Este coche no

deja de saltar, pero valdrá como ejemplo –mientras, le coge la mano-. Haber ponga la mano plana, como en un jeroglífico...Digamos que cae en su mano una gota de agua, ¿hacia qué lado irá, hacia el pulgar, hacia el otro lado?

-No sé...hacia el pulgar.

En primera instancia, la doctora acierta, pero pronto el profesor Malcom vuelve a repetir la misma situación con las mismas condiciones:

-¿Hacia qué lado cree que irá?

-No sé...en la misma dirección.

Pronto, la doctora comprueba que la gota de agua vertida sobre su mano sigue un rumbo totalmente distinto al anterior, tras lo cual Ian Malcom le comenta:

-Ha cambiado. Ha cambiado, ¿por qué? Debido a pequeñas variaciones, a la orientación del vello de la mano, a la cantidad de sangre que dilata los vasos, a imperfecciones de la piel...

-¿Imperfecciones de la piel?

-Ohh, microscópicas, microscópicas... -dice Ian Malcom para que la dra, que se está divirtiendo mucho, no se sienta ofendida- y nunca se repiten y afectan mucho al resultado. Eso es... ¿qué?

-Imprevisibilidad –contesta la dra. Sadler.

-Exacto –afirma Malcom.

De pronto, el otro paleontólogo, el dr. Grant, salta del coche en el que van de improviso tras divisar a un triceratops, con lo que el profesor Malcom confirma:

-Ahí lo tiene, fíjese, lo ve, vuelvo a tener razón. Nadie podría predecir que el dr. Grant saltaría de pronto de un vehículo en marcha. He aquí otro ejemplo más –comenta ya estando

él solo en el coche mientras se ríe-, y *aquí estoy ahora mismo hablando sólo. Eso. Eso es la teoría del caos.*

Bromas aparte, el diálogo es un buen reflejo de lo que significa el caos, y además, nos está informando acerca de la pronta difusión de la que gozó la teoría del caos, puesto que la película es de 1993, y la teoría apareció plenamente en el ámbito académico a finales de los años 80, como hemos visto anteriormente. En otro punto de la película, cuando a los científicos encargados de dar el visto bueno al parque, se les enseñan las investigaciones que se han hecho hasta poder clonar a los dinosaurios, todas ellas de naturaleza genética, el dr. Malcom vuelve a la carga, criticando el uso que se está haciendo de la ciencia, y lanzando una retórica que recuerda a la del filósofo chino Chuang Tzu vista anteriormente. El sr. Hammond, dueño del parque, les explica a los tres científicos sus ideas sobre los itinerarios del parque, precios y demás, hasta que Ian Malcom le interrumpe:

-La falta de humildad ante la naturaleza que se demuestra aquí, me deja atónito.

-Gracias dr. Malcom -contesta el abogado, quien una vez vistos algunos de los dinosaurios cree fervientemente en el éxito del parque- pero creo que las cosas son distintas a lo que usted y yo temíamos.

-Por supuesto... son peores -replica Malcom.

El abogado trata de poner fin a la discusión, pero el sr. Hammond quiere escuchar todas las opiniones de la ciencia, y permite a Ian Malcom expresarse, quien dice lo siguiente:

-No ve el peligro inherente a lo que ha creado aquí, el poder genético es la mayor fuerza de la naturaleza, y usted lo está exhibiendo como un niño que ha encontrado el revólver de su padre.

El abogado, pensando ya en el dinero que el parque le puede reportar intenta poner fin a la intervención de Malcom, pero éste continúa:

-Espere, permítame, le diré el problema que plantea el poder científico que están utilizando aquí. No les costó

ninguna disciplina adquirirlo. Leyeron lo que hicieron otros y dieron el paso siguiente, no adquirieron "ese" conocimiento -al que se refería también el carretero de Chuang Tzu, n. del autor,- así que no asumen ninguna responsabilidad por ello. Se alzaron sobre los hombros de genios, para conseguir algo lo antes posible y sin saber si quiera lo que tenían lo patentaron, lo metieron en una caja y ahora lo están vendiendo, ¿quieren venderlo?, pues bien, háganlo... - finaliza dando un leve golpe a la mesa-.

El sr. Hammond le replica que no le parece justo, y que los científicos que trabajan para el parque, han conseguido lo que nadie antes había hecho, a lo que Malcom contesta:

-Sí, sí, pero a ellos les preocupaba tanto si podían o no hacerlo, que no se pararon a pensar si debían.

El sr. Hammond continúa con su argumento del "gran descubrimiento" que ha significado el parque, e intenta hacer ver a Malcom de que se trata de un gran progreso de la ciencia y de la Humanidad, ya que se recuperarán especies perdidas, pero Malcom le contesta que los dinosaurios no se extinguieron por la construcción de una presa o algo similar, sino que la naturaleza los seleccionó para su extinción. El sr. Hammond le contestará que no entiende una actitud tan retrógrada en un científico ante tal descubrimiento, a lo que Malcom sentencia:

*-¿Y qué hay de bueno en los descubrimientos?
Son actos violentos de penetración, que hieren lo que exploran. Lo que usted llama descubrimiento...es una violación del mundo natural.*

Dejando a un lado las implicaciones de ciencia-ficción que supone la película, el personaje del profesor Malcom encarna muy bien la actitud de la teoría del caos hacia la ciencia clásica. La ciencia no es ya una práctica inmaculada en busca de la verdad absoluta que pretende reducir el mundo natural a simples leyes y descubrimientos; es una práctica cultural. De hecho, esa referencia hacia los hombros de los genios, la encontramos en el artículo de James Lighthill de 1986, que comienza con un epígrafe llamado *Los gigantes y sus hombros*, en referencia a las leyes de la dinámica de Newton, a la antigua causalidad que la teoría del caos hizo reinventarse. Pero también, a la vez, se reflexiona sobre el uso que se da a la ciencia, ya que sus grandes logros (como la energía atómico) que normalmente

tienen que ayudar a la Humanidad, acaban perjudicándola, como la bomba atómica o el parque del señor Hammond. Lástima que las dos siguientes entregas de la saga de Parque Jurásico fueran un fiasco, tanto comercial como cinematográfico, pues la primera parte es una gran divulgación de la teoría del caos y de la ciencia, en particular de los descubrimientos genéticos.

En 1998, y de manos del director norteamericano Daren Aronofsky, iba a aparecer otra película, en la que se reflejan explícitamente los nuevos "descubrimientos" del caos. Con el nombre de *Pi. Fe en el caos*, se nos narra la historia de Max Cohen, un judío matemático de Nueva York que casualmente vive en el barrio chino, donde una niña del vecindario se divierte mucho haciéndole preguntas imposibles de cálculo mental; creo que el hecho de que viva en el barrio chino no es casualidad, pues de algún modo, refleja la ruptura con el pasado que la globalización significa, haciendo nuestras las ideas de los otros y viceversa, como se ha comentado antes al hablar de la filosofía clásica china. Pero aparte de esto, Max Cohen vive obsesionado con la idea de modelizar la bolsa, algo sobre lo que su antiguo maestro, con el que conversa mientras juegan al go⁴², le trata de evadir. Todo se complicará con la entrada en escena de una megacorporación interesada en las investigaciones de Cohen, así como la de unos rabinos judíos; los dos, economía y religión convierten la vida de Cohen en un caos, a la que después le sucede un orden totalmente renovador. Max Cohen cometió el delito de desobedecer a su madre, mirando al sol...

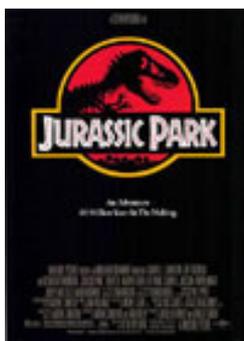


Fig 29. Cartel de Parque Jurásico, 1993.

También, existen gran número de películas de ciencia-ficción que juegan con las consecuencias del efecto mariposa, casi todas ellas bajo el prisma de posibles viajes en el tiempo hacía el pasado, y las consecuencias que para el presente podrían provocar los cambios acaecidos allí. Pese a estar mucho más relacionada con la teoría de la relatividad de Einstein, la trilogía de *Regreso al futuro* (1985, 1989 y 1990 respectivamente) es un buen ejemplo. En la primera parte de la saga,

⁴² Un juego de mesa tradicional de China.

Marty McFly se ve envuelto en un viaje inesperado al pasado después de presenciar la muerte de su amigo, el físico, Emeth Brown. No obstante, viaja hasta 1956, fecha en la que sus padres se conocieron, y en la que su amigo aún está vivo. Accidentalmente, impide que sus padres se conozcan cuando deberían haberlo hecho, y el resultado es que su propia existencia está en juego. *El sonido del trueno* (2005) de Peter Hyams, basada en una novela de ciencia-ficción de 1952, es un tratado sobre el efecto mariposa. El universo de la película se trata un futuro en el que los viajes en el tiempo son posibles, y existen empresas que ofrecen safaris jurásicos, permitiendo a las clases sociales más altas contemplar dinosaurios y cazarlos, para después volver al presente felices de su hazaña después de haber desembolsado una gran cantidad de dinero y haber matado un animal prehistórico. El negocio va bien hasta que uno de los clientes, un tanto detestable, comete la imprudencia de no seguir las instrucciones de los encargados de no tocar nada cuando estén en el pasado, y mata a una mariposa prehistórica. Cuando los siguientes clientes van a repetir el acto (la empresa viaja siempre al mismo punto temporal), nada sale como se tenía previsto. Pronto, en el presente comienzan a surgir especies animales que no había, con mezclas extravagantes de primate y reptil, por ejemplo, y también vegetales, con kilométricas hiedras que envuelven a las ciudades y agrietan la tierra. Todo por una muestra de extrema sensibilidad a las condiciones iniciales, ya que la extinción de la mariposa provoca un caos evolutivo con repercusiones desmedidas en el presente.



Fig 30. Cartel de *El sonido del trueno*, donde se juega con la idea de las enormes consecuencias que pueden provocar pequeñas causas o cambios.

El efecto mariposa, ha sido protagonista también de películas que tratan el mismo hecho, pero alejados de la ciencia-ficción de los viajes en el tiempo. Así, el director español de cine, Fernando Colomo, dirigió una comedia en 1995, con el nombre de *El efecto mariposa*, donde se vuelve a tratar el mismo tema, pero desde la perspectiva de cómo pueden repercutir pequeños cambios producidos en las

vidas personales de los protagonistas. En el mismo sentido se entiende la película estrenada en 2005 del director norteamericano Eric Bress, que con el mismo título, *El efecto mariposa*, nos ofrece la historia de un joven que siendo pequeño fue víctima de abusos sexuales por parte del padre de unos amigos. Vive bloqueado en sus recuerdos, y constantemente realiza viajes mentales entre unos y otros. La película juega con pequeños cambios producidos en sus recuerdos, que le llevan continuamente hacia una vida distinta: estudiante universitario modelo, esquizofrénico ingresado en un hospital mental, preso por asesinato en una cárcel...; la película comienza con la aparición de un texto en pantalla:

-Se dice que algo tan insignificante como el aleteo de una mariposa puede desencadenar un huracán en el otro extremo del mundo (teoría del caos).

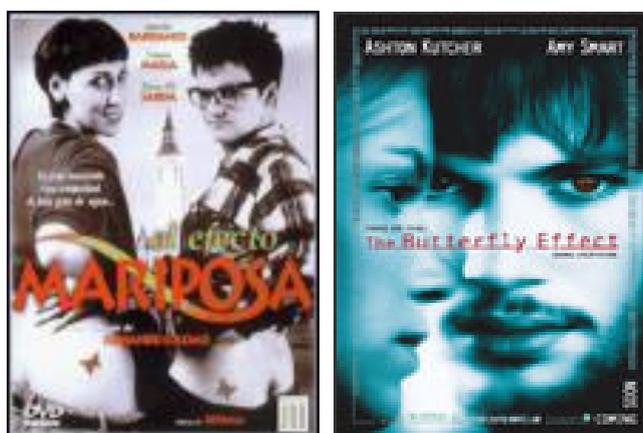


Fig 31. *El efecto mariposa* en el cine, de Fernando Colomo (izquierda) y Eric Bress (derecha).

Parece claro, que la teoría del caos ha influido en la aparición de películas que tratan sus planteamientos explícitamente, lo que puede ser un reflejo de lo idóneo que resulta esta teoría para comprender los nuevos tiempos de la contemporaneidad. Pero también, se hace evidente en algunos casos que sus postulados han provocado ciertos cambios en la narrativa tradicional del cine. Por ejemplo, *Memento* (2000), del director alemán Christopher Nolan, nos cuenta la historia de un hombre que sufre de un tipo de amnesia que le impide crear nuevos recuerdos; continuamente se tatúa información y mensajes en su cuerpo para no olvidarlos e intentar llegar a saber qué es lo que le está sucediendo, dado que han intentado acabar con su vida en varias ocasiones. Lo importante de la película es que está narrada a base de flashbacks, que saltan de un momento a otro caótica y azarosamente. Lo mismo encontramos en *El viento se llevó lo que* (1998) del director argentino Alejandro Agreste, que ya de por sí tiene un nombre algo

aparentemente desordenado. Aquí, es una taxista del Buenos Aires de los 90 la protagonista, que cansada del stress de la ciudad, huye a la Patagonia en busca de calma. De manera accidental llega a un pueblo perdido de la mano de dios del que se enamora, pero en el que sus habitantes viven dentro de un "caos cronológico" como ella misma dice, pues su único medio de comunicación con el mundo exterior son las películas de cinematógrafo antiguo que les llegan en un orden cronológico aleatorio: de los años 50, de los 30, de los 70... Con lo que cada persona parece ser un mundo totalmente distinto, ya que sólo cuentan con el cine como método de culturización.

Por último, la película francesa *Irreversible* (2002) de Gaspar Noe, con Monica Belucci y Vincent Cassel como protagonistas, ya nos suena por sí solo a la asimetría temporal anunciada por Prigogine. Este largometraje puede ser quizás el más dramático de todos, pues nos cuenta la violación de una joven y el intento de su novio y un amigo de ambos (exnovio, además, de la joven vejada) por hallar a los culpables. Lo curioso, es que la película está narrada desde el final hacia el principio, es decir, comienza con el hallazgo del responsable de la violación y su ajusticiamiento y termina con el despertar de la pareja en la cama el día en que la joven va a ser violada salvajemente; la conclusión es que el tiempo es irreversible, puesto que la violación no puede evitarse. La película fue muy polémica por su gran violencia y por el hecho de aparecer entera la escena de la violación⁴³, una escena de cinco minutos que se hace interminable e insufrible. La película se inicia con un mensaje claro en pantalla: *el tiempo lo mata todo. La flecha del tiempo*, que hace que pasado, presente y futuro jueguen papeles totalmente distintos.



Fig 32. Cartel de Irreversible de Gaspar Noe.

⁴³ El director de la película, Gaspar Noe, siempre ha dicho que trató de denunciar el salvajismo de una violación y las consecuencias trágicas que acarrea tanto para la víctima como para sus allegados, teniendo su creación un mensaje moral. Esto se refleja en el hecho de que la escena de la violación está rodada desde un mismo plano, sin variar, lo que le resta toda clase de erotismo, puesto que el cambio constante de plano es lo que caracteriza al cine pornográfico y erótico. La película se debe más a las intenciones transgresoras del director respecto a las formas narrativas cinematográficas tradicionales, que a una depravación.

4. ENTRE LOS NÚMEROS Y LAS LETRAS.

Las grandes doctrinas son fuego que todo lo devora...

CHUANG TZU

4.1. LA TEORÍA (DEL CAOS) Y LA ARQUEOLOGÍA.

La teoría y la arqueología se conocieron por primera vez de manos de Lewis Binford, que fue el primer arqueólogo que conscientemente ideó un modelo teórico para la investigación arqueológica. Hasta entonces, la arqueología había vivido de espaldas a la teoría, ya que son bien conocidos los reparos que muestra la escuela historicista en aceptar nuevas teorías o, en algunos casos, cualquier tipo de pensamiento teórico. Sin embargo, como veremos en seguida, Binford trasladó la teoría científica clásica, la de las leyes de Newton (desde el campo de las ciencias naturales) a la arqueología, no los nuevos postulados de la teoría del caos/complejidad, o no al menos en toda su integridad, por lo que la nueva arqueología seguía demostrando la misma pasión escatológica en deglutir las *heces de los antiguos* que la escuela histórico-cultural y que la tradición general de la ciencia clásica. Así, hasta las últimas investigaciones realizadas en arqueología bajo el modelo del caos/complejidad, se estuvo aplicando en nuestra disciplina el concepto clásico, mecánico, determinista y reduccionista de la ciencia, bajo el nombre de procesualismo. Con la posmodernidad, apareció la teoría posprocesual, que por su profundidad filosófica coincide en muchos puntos con la teoría del caos, como la negación del determinismo, de la predictabilidad y de la posibilidad de un conocimiento absoluto; además, el posprocesualismo, introdujo en la hasta entonces muy positivista arqueología, la valoración del estadio histórico o cultural en el que las teorías son pronunciadas y la desmitificación del científico como algo exógeno a su propio contexto, demostrando, al igual que la teoría del caos/complejidad, que "los practicantes de la ciencia son, al fin y al cabo, seres humanos. No son inmunes a las influencias normales del egotismo, el interés económico, la moda, las ilusiones y la pereza" (Gell-Mann, 1995: 97). Lo obsoleto que puede resultar la dicotomía entre el procesualismo y el posprocesualismo en arqueología, será argumentado en seguida.

Afortunadamente, el miedo a la teoría se ha ido superando dentro de nuestra disciplina, lo que es un síntoma de una ansiada regeneración teórica y de buena salud científica, y hoy existen modelos teóricos bastante asentados en la arqueología, como los mencionados más arriba. No obstante, esa fobia hacia la teoría mostrada por la arqueología y otras disciplinas sociales se ha hecho evidente

para gente extraña a nuestro campo, pues en "la antropología cultural, la arqueología y la mayor parte de la biología, hay todavía muy pocos teóricos y no se les tiene un gran respeto" (Gell-Mann, 1995: 93). Si entendemos que las teorías científicas son sólo "predicciones verificables mediante observaciones posteriores" (ibidem: 95), el enfado por la acritud que la arqueología mostró durante mucho tiempo hacia la teoría es aún mayor, ya que revelaba cierta actitud petulante y contumaz. Así, en alguna estudiante de arqueología clásica de Estados Unidos de los años 50-60, producía asombro descubrir como los físicos cambiaban de opinión cuando encontraban evidencias que contradecían sus ideas favoritas (ibidem). Parece necesario festejar que la arqueología haya salido de su ostracismo teórico y que muestre una buena salud epistemológica, pues es ante todo un síntoma de lo necesaria que es para la sociedad en un mundo como el actual.

La relación que puede existir entre la teoría del caos/complejidad y la arqueología es más que evidente en algunos casos, como el de la incuestionable asimetría temporal que ambas propugnan, la *flecha del tiempo*, es decir, la afirmación de que pasado, presente o futuro juegan papeles totalmente distintos. Esto es algo que encontramos tanto en las ciencias exactas y naturales (Prigogine, 1997, 1999; Prigogine y Stengers, 2004) como en la arqueología (Hernando, 2002), pues parece lógico y convincente que cada período prehistórico o histórico mantiene una determinada relación con su correspondiente cultura material, y que cada uno de esos mismos períodos tiene unas características históricas, sociales, culturales y económicas radicalmente distintas. Esa posible relación se hace aún más factible cuando alguno de los científicos del caos reflexiona sobre el tiempo:

"En mis años de adolescencia me atraían la arqueología, la filosofía y la música (...) Los temas que me interesaban siempre habían sido aquéllos donde el tiempo desempeña un papel esencial, ya fueran éstos la emergencia de civilizaciones, los problemas éticos relativos a la libertad humana o la organización temporal de los sonidos en música" (Prigogine, 1997: 64).

Así, las ciencias del caos parecen revolverse contra la idea de que el tiempo se reduzca a un parámetro geométrico, surgida como fruto de haberse dedicado en exclusiva al estudio de problemas simples; a cambio, se le otorga el papel de propiedad emergente y dinámica (ibidem: 65). Ese cercano parentesco conceptual sobre el tiempo que guardan la teoría del caos y la arqueología, se hace innegable con algunas observaciones como las siguientes:

“A menudo me venía a la mente un ejemplo relacionado con la arquitectura: no hay gran diferencia entre un ladrillo iraní del siglo V a. C y un ladrillo neogótico del siglo XIX pero, ¡qué diferencia entre los edificios construidos con esos ladrillos, entre los palacios de Persépolis y la Gedächtniskirche de Berlín!” (ibidem: 66).

También existe una llamativa coincidencia entre algunos postulados de Ian Hodder (1998) y los de la teoría del caos/complejidad, en lo referente a la hora de llevar a cabo un proyecto arqueológico con metodología posprocesual⁴⁴. Así, abundan las nociones de autoorganización para “combatir la idea de una excavación como proceso mecánico de registrar datos objetivos” (ibidem: 6), las de acercarnos al yacimiento como un todo interconectado pues “si todo depende de todo y yo cambio una variable en mi análisis, habrá efectos incontrolables en todas las demás” (ibidem: 9), las de la ruptura de la especialización y el incremento de la multidisciplinariedad e interdisciplinariedad (ibidem: 10) o la colaboración y la valoración del impacto del proyecto en la comunidad local (ibidem: 8), algo, esto último, en lo que se coincide de pleno con investigadores de la complejidad (Gell-Mann, 1995: 353-354). Parece haber más cosas en común entre la teoría del caos/complejidad y la arqueología que las que se pensaba en un principio.

Pero esta posible relación entre el caos y la arqueología se manifiesta también en un aspecto técnico, como es el de la vida de un yacimiento arqueológico. En efecto, como se ha señalado mucho antes (ver *Siglo XX: (2)*, la parte de Prigogine), a medida que avanza el tiempo, desde que se forma un yacimiento hasta que lo encuentra el arqueólogo o arqueóloga, su grado de entropía aumenta progresivamente, se desorganiza continuamente, por medio de procesos de alteración tafonómicos o a la propia actividad humana. Esto es algo destacable, pues nos muestra lo ridículo que puede ser hablar de verdad y certidumbres en la arqueología, pues la información que nos llega es notablemente sesgada y ha de ser complementada con investigaciones etnoarqueológicas, de arqueología experimental o de antropología física. Sin duda, el aspecto más importante y que nadie que se dedique a la arqueología debe olvidar, es que las personas, grupos o civilizaciones que generaron el registro arqueológico perdieron su voz para siempre; si la verdad existió alguna vez, murió con sus protagonistas.

⁴⁴ El proyecto de Ian Hodder en Catalhöyük.

4.2. HACIA LA RUPTURA DE UNA DICOTOMÍA INMÓVIL. ¿LA PAZ ENTRE EL PROCESUALISMO Y EL POSPROCESUALISMO?

Cuando me propuse realizar este trabajo sobre la teoría del caos, en principio no valore la posibilidad de tratar de colocar al nuevo paradigma en una de las grandes escuelas o modelos teóricos de la arqueología, esto es, procesualismo o posprocesualismo. Pero a medida que iba avanzando en el mismo, comencé a percibir que se haría muy necesario hacerlo, sobre todo cuando empecé a darme cuenta de que no podía situarla en ninguno de los dos modelos con absoluta claridad; pudo ser quizás porque, como reconoce Ian Hodder (1998: 10): "La arqueología no es una ciencia o una humanidad. Es ambas cosas a la vez". Sin duda, esto es algo que concuerda muy bien con la *nueva alianza* propuesta por Prigogine y Stengers, es decir, aquélla en la que no hay preminencia de unas disciplinas sobre otras, donde todas las investigaciones se plantean desde una perspectiva multi e interdisciplinar y donde la verdad absoluta propiciada por el conocimiento científico no existe.

Hemos visto como la teoría del caos coincide en muchas cosas con los postulados del posprocesualismo, lo que tal vez sea un síntoma de la posmodernidad de la misma, pues cronológicamente tanto el posprocesualismo como la teoría del caos surgen en la misma fecha, los años 80 del siglo XX. Sin embargo, esto no quiere decir, ni mucho menos, que la teoría del caos sea posprocesual, pues se trata de una teoría que nace en el seno de las ciencias exactas, en la matemática y en la física. ¿Es positivista la teoría del caos? Sí, dado que busca lo útil a través de observaciones de la realidad, y cree que el caos se manifiesta en todos los niveles de la vida natural, incluyendo el humano. ¿Es humanista la teoría del caos? En cierto modo, dado que contempla a la ciencia como una práctica cultural, no como una vía de escape del mundo que nos rodea; además, son conscientes de que la actividad científica tiene que estar ligada a su contexto histórico, social o cultural. Así, la teoría del caos no pretende convertirse en una panacea que solucione todos los problemas, sino que llama constantemente a la integración y colaboración de todo el cuerpo científico y del conocimiento humano para comprender mejor los hechos a los que por una innata curiosidad humana tratamos de sacar sentido. De ahí que le conozca también como ciencia de la totalidad. Un ejemplo sencillo nos ayudará a comprender mejor este aspecto.

Pongamos que un jugador de billar americano se propone a iniciar la partida, rompiendo con su golpe el triangulo que forman las demás bolas colocadas a cierta distancia. ¿Podríamos predecir hacia donde irán las bolas? Teniendo en cuenta que ya de por sí es muy difícil tomando sólo las variables que manejaría la ciencia

clásica (fuerza del golpe del jugador, velocidad de la bola, distancia de ésta respecto de las otras...), la ciencia del caos introduciría nuevas preguntas: ¿es él o ella?, ¿cómo es su psicología?, ¿qué musculatura tiene?, ¿a qué contexto cultural pertenece?, ¿sufre de alguna enfermedad?, ¿ha descansado bien el día anterior?... Así, ante un mismo problema, se harían necesarias distintas opiniones, no sólo las de las ciencias exactas, para tratar de dilucidar mejor el potencial resultado, puesto que existen una multitud de causas que influyen en el resultado, en el efecto. Antes hemos visto como arqueólogos, físicos y psicólogos colaboraron en un proyecto sobre el consumo de drogas, lo que nos recuerda otro de los planteamientos clave de la teoría del caos, su oposición a una especialización científica que le hace a uno ser experto en una sola cosa pero ignorante en todo lo demás (Escohotado, 1999; Prigogine, 1997; Prigogine y Stengers, 2004; Wiener, 1985). El hecho de que la teoría del caos se sitúe en un punto intermedio entre el discurso científico y el filosófico, nos puede ayudar a superar una de las oposiciones más asentadas en el campo teórico de la arqueología, aunque esto pueda ser más un simple anhelo personal que una realidad académica.

El nacimiento de la nueva arqueología encabezada por Binford, durante la segunda mitad del siglo XX, actuó como un revulsivo para nuestra disciplina, dando cabida a nuevos planteamientos teóricos, y dotándola de un incuestionable valor heurístico y epistemológico; nació el procesualismo. Pronto iban a aparecer numerosos modelos que desde posiciones ecológicas o biológicas, trataban de generalizarse, hasta el punto de tomarse como verdades absolutas e incuestionables. Necesariamente esto iba a provocar una reacción más tarde o más temprano, y unos veinte años después de la radicalización positivista aparecería el planteamiento posprocesual de Hodder, envuelto en los aires de la posmodernidad y dudando de que se pudiera llegar a tener un conocimiento, no ya absoluto, sino siquiera aproximado, de las sociedades del pasado; cobraba mucha importancia el contexto en el que se producía la cultura material. Inmediatamente la conflagración iba a estallar, y desde que aparece el posprocesualismo los combates académicos y dialécticos entre unos y otros se sucedieron constantemente. De las puyas de los posprocesuales lanzadas a los procesuales, la más común era la de acusarlos de ser poco menos que lacayos del imperialismo, idea que está en relación directa con la práctica neocolonial de buena parte de la nueva arqueología desarrollada sobre todo en Gran Bretaña y América (Shanks y Tilley, 1987: 187); el problema es que esto lo generalizaron a la teoría de sistemas, puesto que la cibernética desarrollada por Wiener y el aspecto de la realimentación adquirieron mucha relevancia para la nueva arqueología procesual. El problema está, también, en que la arqueología procesual trató de generalizar íntegramente la teoría de sistemas a la arqueología,

insinuando una exclusiva pulcritud científica en su proceder y pretendiendo que sus predicciones teóricas fueran verdades absolutas e incuestionables; lo que ocurría, era que a la arqueología se había trasplantado la actitud científica clásica, mecánica o reduccionista, no los de la nueva ciencia del caos y la complejidad. De la teoría de sistemas y de los escritos de Wiener, la nueva arqueología se quedó únicamente con lo que a ella iba a servirle para su metodología, como el fenómeno de la realimentación, obviando que también el padre de la cibernética, se había dedicado a reflexionar sobre el proceder científico desde una perspectiva crítica, ética y moral. Se adoptó una actitud petulante, como si todos y cada uno de los aspectos de las sociedades del pasado pudiera ser conocido a través del registro arqueológico y de investigaciones complementarias (arqueología experimental, etnoarqueología...), lo que espolearía una reacción desde el mismo campo de la arqueología. Y así ocurrió con la reacción posprocesual, que surgió como un intento de escapar de las cadenas intelectuales que suponían querer reducir toda la actividad y la existencia humana a leyes universales y variaciones en un determinado sistema, y de superar actitudes coloniales heredadas del pasado, sobre todo las que se daban en continentes como África, América y Asia.

No obstante, pese a la actitud de petulancia de la arqueología procesual, hay que reconocer que sí introdujo ciertos procedimientos del nuevo paradigma en la arqueología, como el de la multidisciplinariedad en la investigación; del mismo modo, hemos de reconocer en la crítica posprocesual cierto grado de desconocimiento respecto del significado íntegro de la cibernética, ya que hemos podido comprobar como Norbert Wiener era todo menos un fanático imperialista, y en la misma obra en la que expuso el concepto de realimentación, hizo lo propio con el de autoorganización, y también recapacitaba sobre el sistema capitalista y la ciencia, argumentando que no existía un equilibrio -una homeostasis- en él.

Esto nos vale para el caso de la cibernética, pero la realidad es que la teoría del caos no se había formulado aún cuando Binford (1962; 1965) publicó los dos artículos con los que tomaba forma la nueva arqueología procesual. Edward Lorenz, publicó su artículo en el que aparecía el primer atractor extraño tan sólo un año después de que Binford hiciera lo propio con "Archaeology as anthropology" Así, la apuesta de la teoría del caos de que no es posible el conocimiento absoluto no tuvo sentido para él, y fruto de un entusiasmo exacerbado intentó convertir a la arqueología en un baúl de certidumbres fehacientes. Ni la disipación de la relación causa-efecto, ni la no linealidad, ni otras tantas características del nuevo paradigma del caos y la complejidad encontraron eco en la arqueología procesual, por un simple motivo cronológico. En ocasiones, da la sensación de que la arqueología (y las ciencias sociales) actúa con un cierto desfase, pues comenzó a aplicar los

procedimientos de las ciencias exactas y naturales a su disciplina cuando éstas estaban comenzando a sacudirse el yugo de la reversibilidad, la predictabilidad y el determinismo, así como de la vieja causalidad.

Ni siquiera la *flecha del tiempo* era respetada por Binford, quien pretendió que las investigaciones etnoarqueológicas se convirtieran en un reflejo exacto de lo que ocurría en el pasado. Así, no distinguía, como Einstein, entre pasado, presente y futuro, y del presente podía extraer observaciones que se aplicarían directamente al estudio del pasado: "Todos estamos familiarizados con el cliché de que estudiamos el pasado para conocer el presente. Quizá no lo estemos tanto con la idea de estudiar el presente para entender el pasado" (Binford, 2004: 27); no hacía distinciones, seguía observando una simetría temporal. Por supuesto que la etnoarqueología es una "vía eficaz de aproximación al pasado" (cfr. Hernando, 1995), puesto que existen sociedades que conservan métodos tradicionales de relacionarse con la cultura material, y eso puede ayudar a la arqueología a interpretar el registro arqueológico. Pero de ningún modo esas observaciones deben generalizarse, como si lo que contemplamos en el presente sea igual a lo que ocurría en el pasado. Más que en ninguna otra disciplina social, la asimetría temporal, la *flecha del tiempo*, juega un papel fundamental en la arqueología y la historia. Las *teorías de alcance medio* pretendieron convertirse en leyes universales, lo que en cierto modo coartaba la existencia humana, al reducirla a relaciones simples de causa-efecto. Esto, es apreciable también en el funcionalismo procesual, por ejemplo en Chapman (1982), donde para explicar la aparición de la jerarquización social en la península ibérica se baraja una sola causa que produce un efecto igual y opuesto (tercera ley de Newton); es decir, la necesidad de agua en un medio árido llevó a que aparecieran elites que controlaran los medios de control e irrigación de las aguas, que en un ejemplo de equilibrio u homeostasis beneficiaban a todo el conjunto de la población. Sólo se valora una causa (necesidad de agua), que produce un efecto igual y proporcionado (aparición de las jerarquías); además, esto se presenta como una verdad absoluta y poco cuestionable. Gracias a la teoría del caos, sabemos que no hay una sola causa que produzca el efecto, sino que más bien, hay un montón de causas que conjuntamente producen el efecto; o que una causa mínima puede provocar un efecto enorme. Más importante se hace saber, que la nueva ciencia del caos proclama también el *fin de las certidumbres*.

De manera que la reacción posprocesual es entendible desde el punto de vista de que supuso un grito contra lo que podría convertirse en una nueva unificación y encorsetamiento de la arqueología, como ya había ocurrido con la escuela histórico-cultural, que por otro lado, hemos de entender como poco compatible con los

presupuestos de la teoría del caos, ya que sólo barajan una única causa, la difusión. Pronto, los ataques al posprocesualismo no se iban a hacer esperar por parte de los procesuales, quienes adoptaron cierta actitud ridiculizante hacia el nuevo modo de acercarse a la arqueología que estaba naciendo. En cierto sentido, esto es también comprensible, sobre todo si atendemos al extremismo hermenéutico que se llegó a mostrar desde el modelo posprocesual en sus primeros momentos. No obstante, la guerra había comenzado, y si los posprocesuales acusaban a los procesuales de tomar una actitud engreída y dogmática, fruto de su apego al capitalismo, los procesuales han llegado a decir que Indiana Jones, la antítesis de la arqueología, es más lista que los posprocesuales (cfr. Bintliff, 1993). Por un lado se ganaba mucho en debate teórico, lo que sin lugar a dudas enriqueció y fortaleció a la arqueología como ciencia. Pero por otro, se malgastó mucha energía en querer demostrar que el modelo de unos era mejor o más fiable que el de los otros; parecía más importante el triunfo de uno u otro modelo que el de la arqueología.

Nos encontramos, por tanto, en la difícil tesitura de colocar a la teoría del caos en uno de los dos grandes modelos teóricos de la arqueología. Difícil porque a pesar de que el nuevo paradigma puede parecer idóneo para el bando procesual (puesto que tiene su origen en las ciencias exactas y naturales), hemos visto que coincide en muchas de las afirmaciones de los posprocesuales, y aparte guarda en sí mismo una profunda reflexión filosófica sobre la ciencia y la existencia humana que podría exasperar al más tradicional de los procesuales. El caos y la complejidad son ante todo novedad y revolución para la ciencia, sin minusvalorar lo que puedan aportar el resto de teorías existentes.

Se habla a veces de caos determinista, puesto que las ecuaciones no lineales de los sistemas caóticos son tan deterministas como las de Newton (Prigogine, 1997: 32), dado que pueden resolverse. No obstante, no son reversibles y "engendran comportamientos de aspecto aleatorio" (ibidem: 33); así, la historia de la teoría del caos, es la historia de la eterna contradicción entre la libertad y el determinismo, la historia de un mundo atrapado entre el espejo y el reflejo. Esto, hace de ella un buen aliciente para superar una dicotomía que le ha supuesto muchos quebraderos de cabeza a la arqueología. Probablemente las cosas seguirán estando igual durante mucho tiempo, pero basta con ir cambiando la perspectiva; es decir, romper con la idea de que la ciencia tiene que asirlo y determinarlo todo sin dejar espacio a la espontaneidad, y comenzar a comprender que no es más que una de tantas otras prácticas culturales. Parece oportuno recordar que el entendimiento es siempre más enriquecedor que el enfrentamiento, y que deberíamos ser capaces de encontrar el punto medio entre el proceso y el contexto.

Nadie puede dudar de que la arqueología es una ciencia necesariamente compleja, del mismo modo que no podemos obviar el hecho de que trata con sistemas dinámicos, puesto que las sociedades y la cultura material evolucionan con el paso del tiempo. Hay también cierta inestabilidad en los procesos culturales y arqueológicos, pues si no fuera así no tendríamos los problemas que tenemos para intentar comprender qué sucedió en el pasado. Una última pregunta retórica requiere ser lanzada, ¿es posible que esa inestabilidad sea también caótica?

5. EL PASADO NO ES PREDECIBLE, AUNQUE SI PROBABLE: ¿UNA ARQUEOLOGÍA DEL CAOS?

La materia es espíritu gastado
BENJAMIN OSGOOD PEIRCE

Ahora, nos toca ver de qué modo se han aplicado las enseñanzas de la teoría del caos en la arqueología y la prehistoria. Valga decir, que si bien no hay una gran abundancia de estudios arqueológicos basados en la teoría del caos y la complejidad, sí que hay suficientes para demostrar que cada vez más el nuevo paradigma se va asentando en la ciencia. De los estudios que se han hecho en arqueología, algunos se han dedicado a grandes temas de la misma, como la expansión de las especies domésticas por el mediterráneo o los estudios del cambio estilístico en la cerámica, ambos desde una posición que en principio cabría tildar de procesual. Pero otros se dedican a valorar los nuevos aportes conceptuales que ofrecen el caos y la complejidad para tratar muchos otros aspectos de la arqueología, como la identidad o el resurgimiento de ciudades. También, la nueva ciencia del caos ofrece un atractivo acicate para comprender nuestra propia evolución, desde nuestros antepasados homínidos hasta nosotros.

Sin embargo, se hace necesario señalar que desde la perspectiva de la teoría del caos cualquier contribución es legítima, venga de la escuela que venga, siempre y cuando sea concebida como parte integrante de un todo, y no de manera aislada. Así, los distintos tipos de arqueologías nacidas de la reacción posprocesual, que clamaban por una multivocalidad negada hasta entonces por la arqueología procesual (como la arqueología social o la arqueología de género), no serían un inconveniente para el caos. Aparte de por el profundo trasfondo filosófico del nuevo paradigma, éste aboga por tener cuanta más información mejor, puesto que así nuestras afirmaciones podrán ser un tanto más íntegras. Realmente, conocer el papel que grupos sociales tradicionalmente marginados (por motivos económicos,

étnicos o de género) desempeñaron en el pasado, así como su relevancia, se hacen absolutamente necesarios para comprender la complejidad que encierra nuestra propia evolución, ya sea prehistórica, histórica o cultural. Además, la teoría del caos ofrece por encima de todo una nueva terminología, unos nuevos conceptos, que con mayor o menor entusiasmo pueden ser utilizados en la disciplina arqueológica. Una vez más, será el tiempo, con su constante devenir, quien nos revele la importancia de la teoría del caos, tanto para la arqueología como para el resto de las ciencias.

5. 1. EL "MODELO PERCOLATIVO" PARA LA EXPANSIÓN DE LAS ESPECIES DOMÉSTICAS POR EL MEDITERRÁNEO⁴⁵.

La difusión de las especies domésticas por el mediterráneo, es decir la neolitización, es uno de los grandes debates de la arqueología y de la prehistoria. ¿Cómo llegaron las especies domésticas desde el próximo oriente hasta el mediterráneo occidental? El modelo más asentado es el de la "ola de avance" ideado por Ammerman y Cavalli-Sforza en los setenta y publicado en 1984, que no deja de ser una visión difusionista del suceso. Así, el modelo de la ola de avance opta porque desde el próximo oriente las especies domesticadas fueron trasladadas (difundidas) a todo el mediterráneo, lo que implica un movimiento demográfico de las gentes próximo-orientales desde un extremo a otro del mediterráneo, en una época en que las grandes comunicaciones brillaban por su ausencia. Las poblaciones y sociedades que existían por todo el arco mediterráneo, las postpaleolíticas, no son valoradas, concibiéndoselas como un elemento pasivo, que se ven superadas por el avance progresivo y generacional de las poblaciones neolíticas del próximo oriente, que adoptan el papel de cultura ecuménica o superior proclamado por la escuela historicista.

No obstante, ha aparecido un modelo nuevo, basado en el cuerpo teórico del caos y la complejidad, que ofrece unos aires netamente renovadores. Así, un equipo formado por un arqueólogo y dos físicos (Alcalde, Alonso y Velázquez, 1995a, 1995b, 1996) expertos en la teoría del caos ha ideado una nueva forma de acercarse al problema, que ya está empezando a tener cierta repercusión en el panorama arqueológico. Se utilizan tres conceptos de la teoría del caos y la complejidad para construir el modelo, pero también la propuesta del "modelo de

⁴⁵ Quiero expresar mi más sincera gratitud hacia Ángel Luis Rodríguez Alcalde, uno de los creadores de este modelo, ya que me prestó una ayuda inigualable a través de una relación vía e-mail, bien proporcionándome bibliografía difícil de encontrar, bien resolviéndome algunas dudas sobre la teoría del caos, bien brindándome sabios consejos; por todo ello, muchísimas gracias.

difusión capilar” propuesto por Vicent (1995), que se opone al tradicional modelo difusionista axial; así, de una colaboración conjunta y multidisciplinar surge un nuevo modelo que, personalmente, me parece mucho más coherente con los nuevos tiempos que corren. Para una mayor comprensión del modelo, se hace necesario explicar brevemente algunos de los conceptos utilizados por los autores, aunque algunos ya los conocemos, como los fractales.

Primero, hemos de señalar el aspecto de la *criticalidad autoorganizada*, comentado muy brevemente antes. El caos y la complejidad se encargan de estudiar sistemas formados por múltiples componentes entre los que existe una interacción constante, y donde el conocimiento de esa interacción no significa la comprensión del comportamiento de los distintos componentes (Alcalde, Alonso y Velázquez, 1996: 13); lo que tienen en común todos estos sistemas (por ejemplo, mutación y evolución de especies, producción de avalanchas y terremotos, surgimiento de la cultura Anasazi en el cañon del Chaco...) es que generan “propiedades emergentes”, esto es, “aquellas cuyo origen son las relaciones individuales” (ibidem). Se dice que estos sistemas actúan en el *límite del caos*, una zona entremedias del comportamiento ordenado y el puramente caótico, cuyo mayor ejemplo es el de un montón de arena al que continuamente se va agregando más cantidad; lo importante es que en este estado, la capacidad de almacenar y transmitir información es máxima (ibidem). Es también lo que Ilya Prigogine denomina como *estructuras disipativas*. Este estado es conocido como *criticalidad autoorganizada (self-organized criticality)*, y viene a decir que en tal situación estos sistemas hiperinteractivos se organizan a sí mismos hasta llegar a un punto crítico en el cual un pequeño cambio puede provocar una reacción en cadena que afecte a todo el sistema; la imagen de un montón de arena al que se agrega más arena dejándola caer sigue siendo el mejor ejemplo visual para comprender este hecho. La *criticalidad autoorganizada* es la “formulación matemática del efecto dominó” (ibidem), lo que provoca *bifurcaciones* o reacciones en cadena, como las avalanchas que se producen en un montón de arena cuando le añadimos más. En este sentido, los fractales, serían como fotografías instantáneas de procesos críticos autoorganizados y representarían la huella dejada por tal dinámica (ibidem); de este modo, del caos inicial, surge un nuevo tipo de orden, representado gráficamente por las figuras de la geometría fractal de Mandelbrot.

El otro concepto utilizado por este nuevo modelo para explicar la expansión de las especies domésticas por el mediterráneo occidental es el de *percolación*, que describe el flujo de un fluido a través de un medio poroso, como el petróleo cuando sale de las profundidades de la tierra, como el agua que se extiende a través de una servilleta de papel o como la propagación de un incendio. El concepto de

percolación lo idearon S. R. Broadbent y J. M Hammersley en 1957, y resultó ser un proceso nuevo que rompía con el de difusión clásico (Alcalde, Alonso y Velázquez, 1995a: 16), pues "permite una descripción estadística de los sistemas constituidos por un gran número de elementos que pueden estar relacionados entre sí" y en estos sistemas "la comunicación a gran distancia puede ser posible o imposible dependiendo del número de conexiones y de sus elementos" (ibidem). Para hacernos una idea de lo que significa la *percolación* imaginemos una cadena de islas que se encuentra entre dos continentes, y a un naufrago que ha quedado atrapado en una de esas islas; a medida que fuera bajando el nivel del agua la isla del naufrago se iría conectando a otras, formando lo que se conoce como racimos, lo que aumentaría sus posibilidades de escapar de la isla. En algún momento, cuando el nivel del agua hubiera descendido lo suficiente, el naufrago podría salirse aleatoriamente de la isla en la que había quedado atrapado, pudiendo pasar de un continente a otro (ibidem: 16-17). Lo más importante de todo es que la *percolación* y los racimos que forma pueden ser modelados mediante fractales (Stewart, 1991: 227). Aplicado a la arqueología, esto significa que no es necesario que para que algo se difunda de un yacimiento a otro (una nueva herramienta, especies domésticas o un estilo cerámico, por ejemplo) la población del yacimiento emisor se desplace de su lugar de origen.

Es aquí donde entran en juego las sociedades postpaleolíticas y el "modelo capilar" de Vicent, pues lo fundamental son estos grupos de cazadores-recolectores que, como tales, poseerían una estructura social de banda, donde las relaciones intergrupales son las de sociedades segmentarias, en las cuales la reciprocidad entre grupos locales próximos es de especial importancia (Alcalde, Alonso y Velázquez, 1995b, 1996). Se formarían "redes supralocales que servirían de soporte a los flujos materiales" (Vicent, 1995, citado por Alcalde, Alonso y Velázquez, 1995b, 1996).

Así, lejos de ser el fruto del desplazamiento de población desde un extremo del mediterráneo al otro, la expansión de las especies domésticas se debe al *efecto dominó* provocado por la domesticación de las especies en el próximo oriente por poblaciones preneolíticas, las cuales no tendrían que haberse desplazado más allá de su campo de interacción habitual, y mucho menos hasta el otro extremo del mediterráneo. Bastaría con habérselo comentado al vecino, y este al suyo, y el otro a otro, etc... De manera que la difusión de las especies domésticas por el mediterráneo, se debería a un boca a boca generalizado y prolongado en el tiempo; algo similar observan Prigogine y Stengers (2004: 204-205) para otros aspectos como la aparición de costumbres en una sociedad, donde se subraya la importancia sugestiva (que no demostrativa) que puede cobrar el chismorreo al respecto.

Las diferencias y similitudes entre el modelo de ola de avance y el nuevo modelo percolativo pueden resumirse en las siguientes (Alcalde, Alonso y Velázquez, 1995b, 1996):

- Ambos tienen una referencia en el mundo físico. El modelo de la ola de avance se fija en el movimiento ondulatorio sobre una superficie en reposo producido por una perturbación, como cuando lanzamos una piedra al agua. El modelo percolativo hace lo propio con la *percolación*, mas en su caso no se trata de una mera analogía.
- Los dos reconocen la inexistencia de los ancestros salvajes de las especies domésticas en la Europa preneolítica.
- Los dos manejan las mismas fechas de C-14 (entre el 7.000 y el 3.000 a. C).
- Para el modelo de la ola de avance lo fundamental es la supuesta cultura ecuménica de los grupos productores que se inició en oriente próximo, otorgando un papel secundario a los grupos postpaleolíticos, los cuales o bien asumirían las características productivas o desaparecerían frente a la fuerza neolitizadora. El modelo percolativo resalta el papel único de las poblaciones postpaleolíticas en el proceso de la expansión, pues la red de asentamientos postpaleolíticos formaba una red de asentamientos con una red de relaciones sociales de carácter isotrópico que se articulaban como un sistema interactivo.
- Por último, mientras que el modelo de la ola de avance recurre al movimiento de pueblos, el modelo percolativo plantea una situación relativamente estática de la población.

Así, dado que el sistema da muestras de una *criticalidad autoorganizada*, y puesto que ésta y la *percolación* pueden ser descritos mediante fractales, los autores del nuevo modelo calculan una dimensión fractal para el conjunto de yacimientos (aunque sin utilizar el registro arqueológico real), para crear una simulación por ordenador de la expansión de las especies domésticas. Podemos observar esta simulación en la figura 33, en la que también se compara con el modelo de la ola de avance.

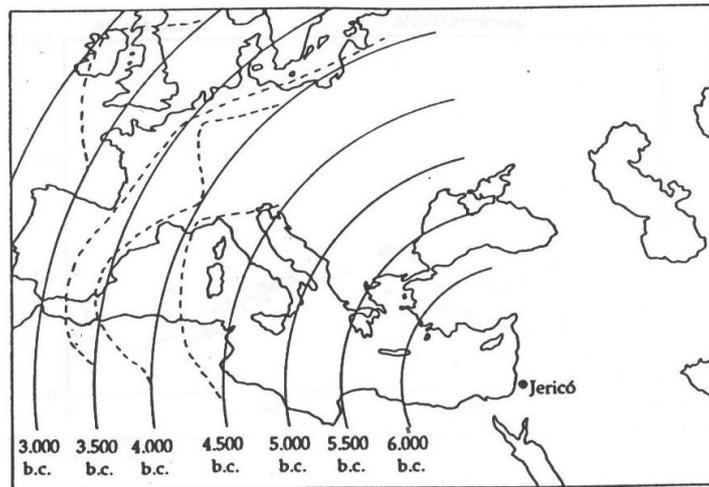


Fig 33. El modelo de la ola de avance (arriba) y el modelo percolativo, obsérvese la estructura fractal de éste último (Alcalde, Alonso y Velázquez, 1995b, 1996).

El modelo percolativo es una muy buena alternativa para el modelo de la ola de avance, y confirma lo señalado por algunas investigaciones al respecto (Hernando, 1999), sobre lo difícil de una expansión como la que proponía la escuela histórico-cultural o difusionista. Además, el modelo no entra en cuestiones sobre la domesticación en sí, es decir, trata únicamente de cómo pudieron llegar al mediterráneo occidental las especies domésticas que antes no estaban. La domesticación podría haber existido ya en el mediterráneo occidental en otras especies animales y vegetales, lo cual podría explicar la súbita aparición de las especies domésticas próximo orientales en el registro arqueológico de éste.

Del mismo modo, el estudio arqueológico y etnoarqueológico del tipo de sociedades que representan las poblaciones postpaleolíticas, es decir, cazadoras-recolectoras, sigue siendo necesario para una mayor comprensión del proceso. Conocer el contexto sería asimismo importante, puesto que son muchas las causas

que están en juego produciendo un efecto desproporcionado. Es curioso percatarse de cómo en los tres trabajos de los autores aparecen con frecuencia los términos *interactivo* o *red*, algo totalmente característico tanto de los ordenadores como de Internet, lo que demuestra una grata coherencia intelectual con el momento vivido.

5. 2. NUESTRA CAÓTICA Y COMPLEJA EVOLUCIÓN.

El largo trecho que se inicia en África hace unos siete millones de años y que culmina en la aparición de nuestra especie (*Homo sapiens sapiens*) ha sido uno de los mayores quebraderos de cabeza para la ciencia, y en especial para la paleontología y para la arqueología. Conocemos nuestra filogenia evolutiva, y sabemos que descendemos de muchas especies ancestrales, pero no podemos discernir con claridad de cuál de ellas surge nuestra propia especie. Así, desde el *Sahelanthropus tchadensis* hasta nosotros se sucede la aparición y desaparición de especies muy próximas, a veces de una manera que no parece guardar un orden concreto. Tampoco ha ayudado a esclarecer tal aspecto la falta de entendimiento entre disciplinas tan próximas como la arqueología y la paleontología, ni la falta de entendimiento entre la tradición anglosajona y el resto. Pero el caso, es que la mayoría de los esquemas existentes al respecto ofrecen un aspecto de la evolución humana alejada sobremanera de la linealidad o unilinealidad. En su lugar, se suceden bifurcaciones al más puro estilo de la de May (ver figura 20), con explosiones evolutivas casi constantes. Esto ha llevado a arqueólogos expertos en evolución humana como Manuel Domínguez Rodrigo (2002), a apelar a la necesidad de incorporar nuevos paradigmas a la teoría de la evolución, que permitan la presencia de la complejidad en los procesos evolutivos de cambio. Sin duda, muchos de los conceptos con los que trata la teoría del caos y la complejidad, se revelan como de mucha ayuda en la comprensión de nuestro propio pasado evolutivo, el cual da muestras con cada nuevo descubrimiento fósil de una mayor complejidad, caso del reciente descubrimiento en Nueva Zelanda del diminuto homínido *Homo floresiensis*. Tal aspecto se puede comprobar en la figura 34.

De este modo, incluso el modelo neodarvinista parece ser errático, puesto que sigue dibujando un camino que conduce inevitable e invariablemente de lo simple a lo complejo. Sin embargo, hoy sabemos que en nuestra génesis biológica aparecen especies que muestran rasgos evolutivos considerados arcaicos junto a otras con otros rasgos considerados nuevos (Domínguez Rodrigo, 2002: 273). Así, mientras el esquema neodarvinista anglosajón imagina un inicio de la hominización unilineal que empieza con *Ardipithecus ramidus* (5,2/5,8 m. a.) y termina en *Homo* después de pasar por varias especies de *Australopithecus*, otros modelos multilineales y

complejos optan porque el proceso de hominización se inicia con la aparición de formas homínidas muy arcaicas, como el tándem *Ardipithecus-Australopithecus*, junto a otras más modernas como *Orrorin-Kenyanthropus* (ibidem). La coevolución señalada anteriormente (ver Siglo XX [2]), parece ser idónea para comprender nuestro más remoto pasado prehistórico. Asimismo, algunos modelos de evolución de biólogos muy próximos a la nueva ciencia del caos y la complejidad, guardan cierta fractalidad en su imagen gráfica, como el caso del *equilibrio puntuado* de Stephen Jay Gould (1977) que viene a significar visualmente algo parecido al fractal conocido como *escalera del diablo* (ver figura 26).

En el mismo sentido hemos de entender otros conceptos legados por la teoría del caos y la complejidad, como el de la *criticalidad autoorganizada* que se ha venido señalando a lo largo de este trabajo, ya que da la sensación de que nuestros antepasados homínidos se encontraban constantemente en el *límite del caos*, donde los efectos son siempre desproporcionados a las causas, y donde una perturbación en cualquiera de las partes componentes (por mínima y banal que pueda parecer) repercute en todo el sistema, haciéndole tomar un sentido totalmente distinto. Esto hace que hoy los modelos evolutivos se planteen con una mayor humildad, a nivel de hipótesis y como simples propuestas (Querol, 1998: 41).

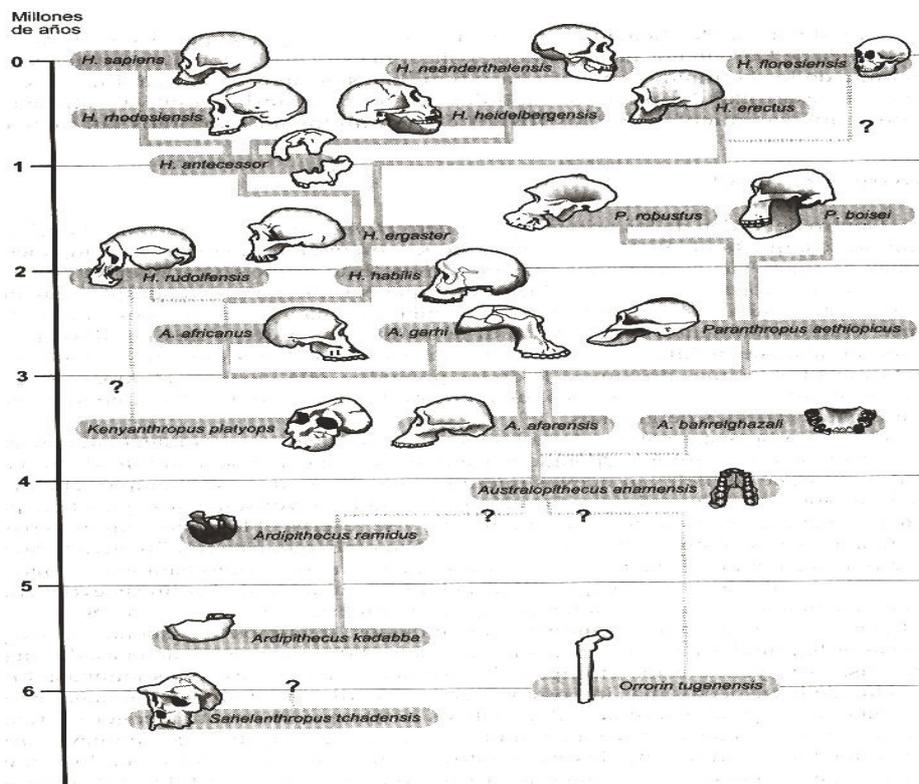


Fig 34. Uno de los esquemas más actuales de la evolución humana (según Carbonell et al, 2005).

En efecto, la complejidad que encierra el interminable paso que va de la mente animal a la mente humana, nos obliga a acercarnos a nuestro propio pasado evolutivo con una actitud probabilística y una absoluta incertidumbre; una interrogación grabada cada vez más fuertemente a fuego lento dentro de nuestra propia existencia.

5. 3. OTROS EJEMPLOS PRÁCTICOS.

En el decaimiento y resurgimiento de las ciudades se han señalado también las implicaciones que podían tener conceptos como la catástrofe, el caos y la complejidad (Bintliff, 1997), observando que algunas ciudades de la antigua Grecia, como Haliartos, si bien desaparecieron o se abandonaron de forma súbita, fueron reapareciendo por efecto de una *criticalidad autoorganizada* o de algún atractor extraño y repoblándose mínimamente hasta tiempos de la era moderna. En el mismo espacio físico se esfumaban viejos asentamientos y volvían a emerger, de una forma algo distanciada en el tiempo pero relativamente constante. Del mismo modo, se ve en el Imperio Romano una estructura que permite la emergencia del caos y de la complejidad, o que las consecuencias de catástrofes naturales o de otra índole para la vida urbana son el resultado de la naturaleza variable de las sociedades urbanas, más que un efecto inevitable de tales desastres (ibidem: 86). No obstante, como se ha señalado antes, es difícil que una oposición tan asentada como la existente entre el procesualismo y el posprocesualismo vaya a caer por la simple formulación de la teoría del caos y la complejidad; es ante todo una cuestión de actitud. Así, en el mismo artículo se sigue con la misma monserga conducente al enfrentamiento de modelos teóricos (ibidem: 70-72), da la impresión de que todavía algunos siguen obsesionados con la idea de demostrar que su modelo teórico es el mejor. De manera que en este caso, se vuelve a olvidar el trasfondo filosófico del caos y la complejidad, utilizando toda su renovación conceptual únicamente como arma para atacar otras concepciones teóricas en la arqueología. Valga decir que de todos los casos tratados, es éste el único en el que se sigue haciendo hincapié en la oposición procesualismo VS posprocesualismo.

Desde el Instituto de Sante Fe, dirigido por Murray Gell-Mann, se lleva a cabo una labor multidisciplinar para estudiar los sistemas complejos adaptativos, es decir aquellos que se adaptan al cambio, trabajando conjuntamente físicos, químicos, biólogos, antropólogos o arqueólogos. Así, esta institución ha apadrinado investigaciones arqueológicas que muestran signos de estructurarse bajo los auspicios de la *criticalidad autoorganizada*, como en el surgimiento de la cultura de los indios pueblo, desde su pasado más remoto hasta su culminación (Kohler,

1993), observándose que desde el período paleoindio (unos 10.000 años atrás) hasta los tiempos anteriores al encuentro con la cultura occidental (1.300 a. C., más o menos) primó una fase constante de transición en las que las sociedades locales se hacen cada vez más complejas y progresivamente interconectadas (ibidem: 306), en las que un cambio en cualquiera de las partes de una de ellas puede provocar cambios irreversibles en todo el sistema, que lo llevan a evolucionar hacia otro estadio cultural. Muchas de estas interconexiones (matrimonio entre comunidades, reciprocidad entre las mismas o la guerra a escala regional), se recuerda, pueden haber tenido una baja visibilidad arqueológica (ibidem), por lo que mucha de la información al respecto no se encontraría en el registro arqueológico y se harían necesarias otras formas de intentar conocer tales aspectos. En este sentido, se señala que tanto la revuelta procesual de la nueva arqueología como la réplica posprocesual adhirieron una considerable complejidad a la práctica arqueológica (ibidem). Lo más evidente, es que se renuncia a tratar cada uno de los yacimientos prehistóricos del suroeste de los Estados Unidos como si fueran una parte aislada del resto. Se resalta la interconexión progresiva que se fue creando en cada uno de ellos.

La estructura fractal, así como la *criticalidad autoorganizada*, han sido utilizados para tratar de comprender mejor la dinámica que envuelve el cambio en los estilos cerámicos (Bentley y Maschner, 2001). Lo que se hace, es un estudio comparativo entre 261 tipologías prehistóricas del área central de Arizona (desde el 300 d. C) y 693 estilos cerámicos de época histórica del estado de Nueva York (entre el 1655 y el 1900 d. C.). Lo verdaderamente importante es que se remarca la necesidad de reconocer en las tipologías arqueológicas una artificialidad que no corresponde con lo que en realidad pudo ocurrir, siendo la categoría de estilo mucho más fiel en ese sentido, ya que el inicio y el fin de las tipologías arqueológicas es más bien arbitrario, sujeto a las inquietudes del arqueólogo o arqueóloga. El problema es que las tipologías arqueológicas muestran un espectro de vida lineal de los distintos tipos de cerámica (ibidem: 54). Eso es lo que sucede con las cerámicas prehistóricas de Arizona. Sin embargo, con el estudio de los estilos cerámicos históricos del estado de Nueva York se dibuja una evolución no lineal, próxima a los preceptos de la *criticalidad autoorganizada*, donde constantemente aparecen y desaparecen nuevos estilos, que son delimitados por la producción comunal o la aparición de una firma personal. Así, desde una idea original surgen infinitud de estilos muy autosemejantes entre sí, guardando el proceso de crecimiento una estructura fractal (figura 35).

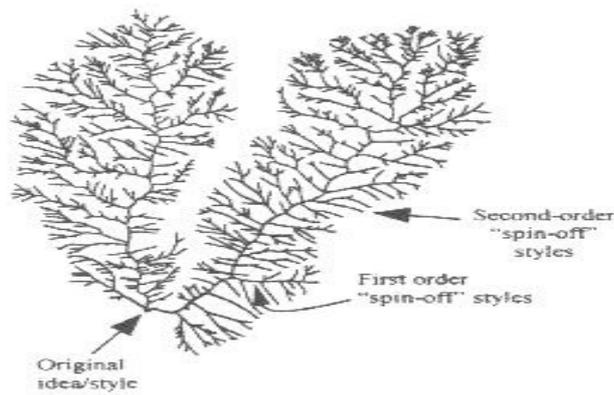


Fig 35. Representación del cambio estilístico como crecimiento fractal (Bentley y Maschner, 2001).

De manera que mientras las tipologías prehistóricas de Arizona exhiben una distribución normal y lineal, en acorde con la subjetiva determinación que él o la arqueóloga hace de la cronología cerámica, los estilos del estado de Nueva York sugieren una evolución estilística con una constante interacción entre los individuos o las comunidades que produjeron dicho estilo, a la vez que se propone una coevolución en la que cada estilo depende inevitablemente del otro. Debido a esta interconexión, la desaparición de un estilo cerámico puede ser debida a la aparición de uno nuevo. Esta interdependencia podría ser conocida a través de distintos aspectos, como la potencial información que podrían haber compartido los individuos o comunidades que generaron los estilos, la herencia cultural de cada uno, la competición o el establecimiento de nichos en la economía (ibidem: 59). Algo importante, que dice mucho de la actitud de la teoría del caos y la complejidad, es que se reconoce que puede haber explicaciones para los datos de los estilos cerámicos del estado de Nueva York que no impliquen *criticalidad autoorganizada*.

Por último, si bien todos los casos comentados hasta ahora proceden de lo que en principio no deja de ser un acercamiento procesual, también los nuevos conceptos de la teoría del caos y la complejidad han sido utilizados por arqueólogos muy próximos al posprocesualismo para argumentar y comprender mejor ciertos fenómenos como la identidad (Fowler, 2005), que en ciertas culturas como la melanesia o la hindú, cobran distintas formas, como el clan o la casta, que se parecen mucho entre sí pero no son lo mismo, como las figuras de la geometría fractal. Para el caso melanesio, el clan se comporta como una persona, y la gente se mueve constantemente entre diferentes escalas fraccionando el tamaño de su comunidad en diferentes partes componentes, y aumentándolo para formar nuevas relaciones (ibidem: 49), lo que parece conllevar cierta longitud infinita. En la identidad hindú, por su parte, cada persona contiene en sí mismo la sustancia de su

casta, que a su vez es tomada del cosmos (ibidem: 50), rompiéndose la barrera entre lo microscópico y lo macroscópico, entre el individuo y el universo. Aparece, por tanto, una *individualidad fractal*, puesto que la identidad como los fractales, nunca es igual y nunca es distinta.

6.CONCLUSIONES.

Corresponde ahora sintetizar todo lo expuesto a lo largo del trabajo lo más brevemente posible. Se argumentarán dos conclusiones básicas. Una de ellas relativa al nuevo papel que puede tomar la ciencia a la luz de la teoría del caos y la complejidad, haciendo especial hincapié en su relevancia para la ciencia arqueológica. La otra es más de tipo sugestivo o intuitivo, y se desprende del análisis realizado de la propia historia del nuevo paradigma, en concreto sobre el papel jugado por la cultura material en la formulación de la nueva teoría.

En primer lugar, la teoría del caos y la complejidad supone un nuevo modo de hacer y de entender la ciencia; es ante todo novedad y revolución. No sólo porque rompe con la causalidad clásica newtoniana y con la actitud corporativa tradicional de la ciencia, sino porque ofrece una innovación conceptual y terminológica dentro de la misma, mediante la introducción de ideas nuevas, como atractores extraños, fractales, criticalidad autoorganizada, estructuras disipativas, coevolución, bifurcaciones... Además, se propone superar la barrera que tradicionalmente ha separado al discurso científico del filosófico, optando por una segunda o nueva alianza entre ambas concepciones. Hay que destacar que las teorías del caos no surgen de la nada, sino que recurren a una tradición olvidada por el *mainstream* científico, como hemos tenido oportunidad de ver con Epicuro y los atomistas griegos, o con los alquimistas de la edad media. Así, lo que surge es una nueva manera de entender la naturaleza y el propio mundo que nos rodea, mucho más coherente con el momento vivido que el que pregona la ciencia clásica, mecánica o reduccionista. Se trata de un nuevo modo de escrutar la realidad que se propone romper todas las barreras que antes oprimían nuestro diálogo con la naturaleza, tanto con la humana como con la no humana, que opta por una indeterminación de los hechos frente a la posibilidad del conocimiento absoluto. Se inicia la era de las incertidumbres, en la cual la ciencia es una más de tantas otras prácticas culturales. La figura del científico se desmitifica, colocándolo a la altura del resto de los mortales, con sus mismas penas y sus mismos triunfos.

Se rompe también la línea que separaba a las ciencias exactas y naturales de las ciencias sociales y humanas, puesto que muchos de los planteamientos de la teoría del caos suministran un modelo idóneo para algunos de los problemas con

los que tratan las ciencias de la sociedad y la humanidad. Una sociedad, por ejemplo, no deja de ser un sistema complejo adaptativo en el que la interacción es constante e independiente entre todos sus componentes, cada uno con una individualidad concreta, pero que en suma son los que producen los cambios, jugando siempre entre el límite que separa al caos del orden, y adaptándose al cambio. Además, se reconoce que las ciencias sociales y humanas encierran la misma (o incluso una mayor) complejidad que las ciencias no humanas. Lo que se impone es una cada vez más necesaria multidisciplinariedad e interdisciplinariedad, y una interconexión de toda la comunidad científica, y no una especialización subyugante.

En cuanto a la arqueología, la teoría del caos, por su mezcla de filosofía y actividad científica, de análisis y reflexión, se ofrece como un marco teórico muy atractivo para la misma. Pero también, puede suponer un intento de superación de las viejas oposiciones teóricas de nuestra disciplina, como la existente entre la escuela procesual y la posprocesual. No obstante, la teoría del caos no es una panacea, sino simplemente una opción teórica más, ni mejor ni peor que cualquiera de las otras.

La otra conclusión que se puede extraer está en relación directa con la cultura material y el rol que ésta juega en la ciencia. Como se ha señalado en repetidas ocasiones durante la primera parte del trabajo, la teoría del caos no hubiera podido plantearse teóricamente si no se hubiera producido el enorme desarrollo de la informática que se dio a lo largo de la segunda mitad del siglo XX. Tanto Mandelbrot como Lorenz, por ejemplo, usaron bastante más el ordenador para construir sus modelos científicos que el clásico microscópico. Los ordenadores permitieron realizar los cálculos necesarios para resolver las ecuaciones no lineales, y también visualizar gráficamente los procesos caóticos, haciendo honor al dicho que dice que *una imagen vale más que mil palabras*. Así, desde la aparición del ENIAC (figura 36) el primer ordenador diseñado para un uso como el que en la actualidad tienen las computadoras aparecido en 1947, cuyas características y dimensiones se han comentado antes (ver *Siglo XX [2]* parte de Edward Lorenz) hasta la imagen actual de los ordenadores personales, se produce una evolución en un tipo de cultura material asociada a la ciencia. Una evolución que hace que se ahorre en espacio físico, comprimiéndose la información progresivamente con una fuerza mayor.

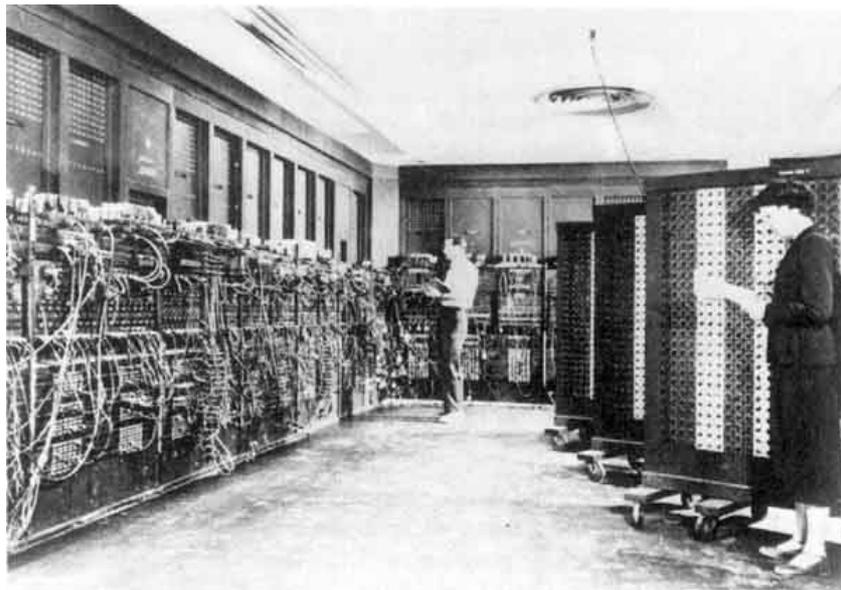
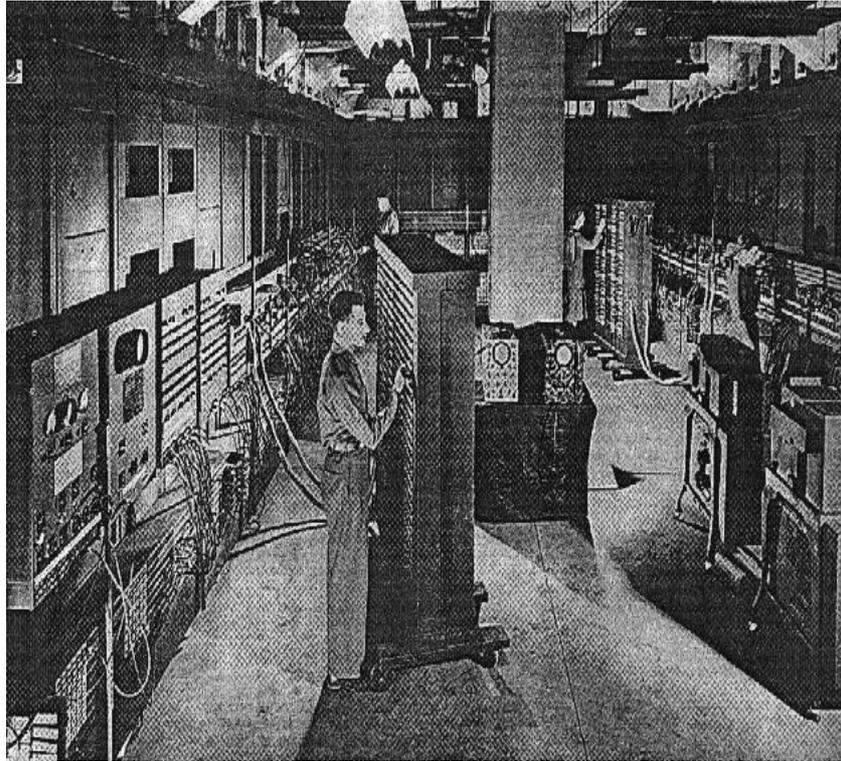


Fig 36. Fotos del ENIAC de 1947, el ordenador ocupaba todo el espacio habitacional que se contempla en las imágenes (Wikipedia).

El ejemplo de los ordenadores y la teoría del caos nos sirve de excusa para reflexionar acerca de la interrelación que parece existir entre la cultura material y el desarrollo científico. También, aunque en el registro arqueológico no suelen aparecer muy recurrentemente, se hace obvio que junto a la ciencia aparece una correspondiente cultura material. Tanto Aristóteles, Newton, Darwin, Mendel o Einstein (por citar sólo algunos ejemplos), necesitaban de artefactos que les ayudaran a medir, cuantificar y analizar la naturaleza o los problemas que trataban

de resolver; regla, escuadra, compás, cartabón, lentes o microscopio, son sólo algunos de los más conocidos ejemplos de la cultura material asociada a la ciencia, pero seguramente existieron muchos más que no hemos podido conocer. En este sentido, ¿sería posible una arqueología de la ciencia? Dado que ya existe una historia de la ciencia, en principio no habría mayor problema que el de desarrollar una metodología al respecto. Ante todo, esto será una cuestión de estímulo y motivación.

BIBLIOGRAFÍA:

ALCALDE, A. L., ALONSO, C. y VELÁZQUEZ, J. (1995a): "Fractales para la arqueología: un nuevo lenguaje", *Trabajos de Prehistoria*, 52 (1).

___ (1995b): "La difusión occidental de las especies domésticas: una alternativa a la ola de avance", *actas del I Congrés del Neolític a la Península Ibérica*, Gavá-Bellatera.

___ (1996): "Complejidad, una dinámica para la arqueología", *Revista Española de Física*, 10 (2).

___ (2003): "Métodos matemáticos no lineales en Ciencias Sociales: teorías del caos y complejidad. Aplicación al estudio del consumo de drogas", *Revista de Servicios Sociales y Política Social*, 61.

ARENDT, H. (1998): *Los orígenes del totalitarismo*, Madrid, Taurus, (citado por Escohotado, 1999).

BALANDIER, G. (2003): *El desorden. La teoría del caos y las ciencias sociales. Elogio de la fecundidad del movimiento*, Barcelona, Gedisa.

BENTLEY, R. A. y MASCHNER, H. D. G. (2001): "Stylistic change as a self-organized critical phenomenon: an archaeological study in complexity", *Journal of Archaeological Method and Theory*, 8 (1).

BINFORD, L. R. (1962): "Archaeology as anthropology", *American Antiquity*, 28 (2).

___ (1965): "Archaeological systematics and the study of culture process", *American Antiquity*, 31 (2).

___ (2004): *En busca del pasado. Descifrando el registro arqueológico*, Barcelona, Crítica.

BINTLIFF, J. (1993): "Why Indiana Jones is smarter than the postprocessualists", *Norwegian Archaeological Review*, 26 (2).

___ (1997): "Catastrophe, chaos and complexity: the death, decay and rebirth of towns from antiquity to today", *Journal of European Archaeology*, 5 (2).

BRANKOV, J., PESHEVA, N. y VALKOV, N. (1999): "Self-organized criticality in 1D stochastic traffic flow model with a speed limit", *Reports on Mathematical Physics*, 44 (1).

BRIGGS, J. y PEAT, F. D. (2005): *Espejo y reflejo: del caos al orden. Guía ilustrada de la teoría del caos y la ciencia de la totalidad*, Barcelona, Gedisa.

BROUÉ, P. (1969): *Los procesos de Moscú*, Barcelona, Anagrama, (citado por Escohotado, 1999).

CARBONELL, E. et al (2005): *Homínidos: las primeras ocupaciones de los continentes*, Barcelona, Ariel.

CHAPMAN, R. (1982): "Autonomy, ranking and resources in Iberian prehistory", en *Ranking, resource and Exchange. Aspects of the archaeology of Early European Society*, Cambridge, Cambridge University Press.

CHÁVEZ GRIMALDI, O. M. y CHÁVEZ GRIMALDI, R. J. (2006): "La enfermedad: una visión desde la teoría del caos y de los fractales", *Medicrit*, 3 (3).

CHUANG TZU (2005): *Obras completas*, Palma de Mallorca, Ediciones Cort.

CRUTCHFIELD, J. P., DOYNE, J., PACKARD, H y SHAW, R. (1986): "Chaos", *Scientific American*, 254 (12).

DOMÍNGUEZ RODRIGO, M. (2002): "Lo simple y lo complejo: la necesidad de un nuevo paradigma para interpretar la evolución humana", *Diálogo Filosófico*, 53.

DYSON, F. (1978): "Characterizing irregularity", *Science*, 200.

ELIADE, M. (1981): *Lo sagrado y lo profano*, Barcelona, Labor.

ESCOHOTADO, A. (1999): *Caos y orden*, Madrid, Espasa Calpe.

FAIRCHILD, H. N. (1939): *Religious trends in English Poetry*, vol 1, Nueva York, Columbia University Press, (contiene el poema *The Newtonian System of the World, the best model of government: an allegorical poem*, de J. T. Desaguliers, citado en Prigogine y Stengers, 2004: 52).

FOWLER, C. (2005): *The archaeology of personhood. An anthropological approach*, London, Routledge.

FREUD, S. (1975): *Introduction à la psychanalyse*, París, Petite Bibliothèque Payot, (citado por Prigogine y Stengers, 2004).

BLANCO FREYEIRO, A. (1988a): *La república de Roma*, Madrid, Historia 16 (Historias del Viejo Mundo, nº12).

___ (1988b): *La Roma imperial*, Madrid, Historia 16 (Historias del Viejo Mundo, nº 13).

GELL-MANN, M. (1995): *El quark y el jaguar: aventuras en lo simple y lo complejo*, Barcelona, Tusquets.

GIRIBET, G. E. (2005): "Sobre el principio de incertidumbre de Heisenberg entre tiempo y energía: una nota didáctica", *Revista Mexicana de Física E*, 51 (1).

GONZÁLEZ RUIBAL, A. (2003): *La experiencia del otro. Una introducción a la etnoarqueología*, Madrid, Akal.

GOULD, S. J. y ELDREDGE, N. (1972): "Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered", *Paleobiology*, 3.

GOULD, S. J. (1997): "Kropotkin was no crackpot", *Natural History*, 106.

HACKING, I. (2006): *La domesticación del azar. La erosión del determinismo y el nacimiento de las ciencias del caos*, Barcelona, Gedisa.

HÉNON, M. (1976): "A two-dimensional mapping with a strange attractor", *Communications in Mathematical Physics*, 50.

HESÍODO (1990): *Teogonía*, México D. F., editorial Porrúa S. A.

HERNANDO GONZALO, A. (1995): "La etnoarqueología hoy: una vía eficaz de aproximación al pasado", *Trabajos de Prehistoria*, 52 (2).

___ (1999): *Los primeros agricultores de la Península Ibérica. Una historiografía crítica del Neolítico*, Madrid, Síntesis.

___ (2002): *Arqueología de la identidad*, Madrid, Akal.

HOBBSAWM, E. (2004): *Historia del siglo XX. 1914-1991*, Barcelona, Crítica.

HODDER, I. (1998): "Trazando el mapa del pasado postmoderno", *Trabajos de Prehistoria*, 55 (1).

JONES, M. A. (2001): *Historia de los Estados Unidos, 1607-1992*, Madrid, Cátedra.

KOHLER, T. A. (1993): "News from the northern american southwest: prehistory on the edge of chaos", *Journal of Archaeological Research*, 1 (4).

LAPLACE, P. S. (1951 [1814]): *Essai philosophique sur les probabilités*, (traducción de F. W. Truscott y F. L. Emory, Nueva York, 1951, citado por Hacking, 2006).

LIGHTHILL, J. (1986): "The recently recognized failure of predictability in Newtonian dynamics", *Proceedings of the Royal Society of London A*, 407.

LORENZ, E. (1963): "Deterministic nonperiodic flow", *Journal of Atmospheric Sciences*, 20.

MANDELBROT, B. (2003): *La geometría fractal de la naturaleza*, Barcelona, Tusquets.

MARX, K. (1968): *Manuscritos*, Madrid, Alianza, (citado por Escohotado, 1999).

NAGATANI, T. (2007): "Nonlinear-map model for split effect on vehicular traffic through periodic signals", *Physica A*, 374.

NIETZSCHE, F. (1999): *Así habló Zaratustra*, Madrid, Edimat.

PRIGOGINE, Y. (1997): *El fin de las certidumbres*, Madrid, Taurus.

___ (1999): *Las leyes del caos*, Barcelona, Crítica.

___ y **STENGERS, I.** (2004): *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*, Madrid, Alianza editorial.

QUEROL, M. A. (1998): *De los primeros seres humanos*, Madrid, Síntesis.

RUELLE, D. y TAKENS, F. (1971): "On the nature of turbulence", *Communications in Mathematical Physics*, 20.

SHANKS, M. y TILLEY, C. (1987): *Social theory and archaeology*, Cambridge, Polity press.

STEWART, I. (1991): *¿Juega Dios a los dados? La nueva matemática del caos*, Barcelona, Grijalbo.

VICENT, J. M. (1995): "The *insular filter* hypothesis revisited", en *Iberian/Sardinian Colloquium*, Boston, Tufts University, (citado por Alcalde, Alonso y Velázquez, 1995a, 1995b y 1996).

WIENER, N. (1985): *Cibernética. O el control y comunicación en animales y máquinas*, Barcelona, Tusquets.

VV. AA (2000): *Diccionario de mitología clásica*, Madrid, Alianza Editorial.

(1972): *Correspondance Albert Einstein-Michelle Besso, 1903-1955*, París, Hermann, (citado por Prigogine y Stengers, 2004).

(1989): *La II Guerra Mundial*, Madrid, enciclopedia editada por Prensa Española S. A. y ABC en colaboración con Europa Press reportajes.