

Río de tiempo y agua

Procesos y estructura en la Ciencia de nuestros
días

PEDRO MIRAMONTES
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México Viçosa
Madrid Cuernavaca
COPIT ARXIVES
2010

COPIT ARXIVES
Ciudad de México Viçosa
Madrid Cuernavaca

Copyright 2010 by PEDRO MIRAMONTES

Publicado en 2010 por COPIT ARXIVES

Todos los derechos de propiedad de esta publicación pertenecen al autor quién otorga su autorización para que el lector pueda copiar, imprimir o distribuir su trabajo libremente, en parte o en su totalidad, con las únicas condiciones que: (i) El nombre del autor y el título original deba ser citado en todo momento, (ii) el texto no sea modificado y (iii) el uso de los contenidos de esta publicación no sea comercial o con fines de lucro.

Las fotografías pertenecen a ELKE KÖPPEN quién otorga el derecho de reproducirlas para uso no comercial con la condición explícita de dar los créditos a la autora.

Este libro ha sido producido electrónicamente con Software Libre y acorde a una filosofía de acceso libre para publicaciones académicas.

ISBN: 978-0-9831172-1-6

Mirar el río hecho de tiempo y agua
y recordar que el tiempo es otro río,
saber que nos perdemos como el río
y que los rostros pasan como el agua.

Sentir que la vigilia es otro sueño
que sueña no soñar y que la muerte
que teme nuestra carne es esa muerte
de cada noche, que se llama sueño.

Ver en el día o en el año un símbolo
de los días del hombre y de sus años,
convertir el ultraje de los años
en una música, un rumor y un símbolo,

Ver en la muerte el sueño, en el ocaso
un triste oro, tal es la poesía
que es inmortal y pobre. La poesía
vuelve como la aurora y el ocaso.

A veces en las tardes una cara
nos mira desde el fondo de un espejo;
el arte debe ser como ese espejo
que nos revela nuestra propia cara.

Cuentan que Ulises, harto de prodigios,
lloró de amor al divisar su Itaca
verde y humilde. El arte es esa Itaca
de verde eternidad, no de prodigios.

También es como el río interminable
que pasa y queda y es cristal de un mismo
Heráclito inconstante, que es el mismo
y es otro, como el río interminable

J.L. BORGES

Prólogo

¡Oh, dicha de entender, mayor
que la de imaginar o la de sentir!

JORGE LUIS BORGES

Heterodoxo, original y hasta herético, este libro nos ofrece siete ensayos, siete como las noches bonaerenses en las que JORGE LUIS BORGES enhebró, en la luminosa oscuridad de su ceguera, otros tantos ensayos memorables. Quien lo lea hallará que, entre los seres humanos que han dedicado su mayor esfuerzo a comprender racionalmente el universo, hay algunas simpatías y muchas diferencias y, quizá sorprendentemente, la fecundidad de la ciencia se nutre de la controversia y el desacuerdo mientras que la uniformidad de pensamiento es lamentablemente estéril.

La inestabilidad es consustancial a la naturaleza, el universo se transforma a cada instante, los ríos de tiempo y agua son y devienen, permanecen y mudan y en la mudanza está la esencia misma de ser ríos. En “El Maligno”, MIRAMONTES aduce la no linealidad intrínseca de los procesos naturales como la razón de ser de las transformaciones y nos explica, además, cómo hallar ahí el germen de la brusquedad y la violencia con que puede alterarse un estado aparentemente tranquilo sin necesidad de buscar explicaciones extraordinarias, ajenas a la dinámica de los procesos.

Si bien no es su propósito primordial, el autor sugiere que lo mismo en la ciencia que en la política y la vida cotidiana-

na, las búsquedas del equilibrio estático —desde las apuestas por el cosmos inmutable de PARMÉNIDES, del movimiento y el cambio como ilusiones de ZENÓN y el lugar para cada cosa de ARISTÓTELES hasta la creencia en un mundo creado de una vez y para siempre de las religiones abrahámicas— son expresiones del temor individual y colectivo a lo radicalmente nuevo que suele identificarse con lo malo, con *El Contrario Luzbel*, porque altera la tranquilidad apacible de quien preferiría que todo, siempre, siguiera igual.

El castigo de CASANDRA por engañar a APOLO fue hacer vaticinios ciertos pero ser descreída de todos; la revolución intelectual de los siglos XVII y XVIII generó lo que podría llamarse la maldición de CASANDRA inversa: se dio en creer que la ciencia tendría un poder infinito de predicción y todos sus augurios serían ciertos. En los albores del XIX, se alentaba la ilusión de que los acontecimientos del universo, en su más amplio sentido, estarían unívocamente determinados por una sucesión o cadena de causas de las que el resultado final podría conocerse siempre y cuando se tuviese la suficiente información. Empero, las representaciones científicas de la realidad siempre han sido idealizaciones, modelos limitados por sus propios supuestos; por ello, sus alcances predictivos son estrechos y extenderlos sin consideración es un error. De hecho, una teoría es importante si nos permite explicar cómo ocurren los procesos, ampliar con ellos nuestra comprensión del mundo y, si acaso, orientar la búsqueda en ámbitos en los cuales se puedan identificar dinámicas semejantes.

Como nos explica PEDRO en “Predecir”, en la historia de la ciencia reciente se descubrió que hay procesos, ubicuos en la naturaleza, donde un comportamiento dinámico con reglas de interacción muy simples, puede dar lugar a una evolución impredecible en el largo plazo, localmente muy sensible a las condiciones iniciales que, no obstante, genera pautas de orden global en el tiempo y el espacio. Esto dio lugar al concepto matemático de caos determinístico y, para estudiarlo, fue necesario inventar la geometría fractal, una geometría completa-

mente distinta de las de EUCLIDES, RIEMANN o LOBACHEVSKY y sus derivaciones, sobre las cuales se había construido la física desde la mecánica celeste hasta la teoría de la relatividad.

Una de las consecuencias más importantes del comportamiento caótico es el descubrimiento de que no es la falta de información la causa de las predicciones erróneas: si los procesos son no lineales (y la inmensa mayoría de los que importan, lo son), es imposible saber puntualmente qué va a ocurrir aunque globalmente existan patrones de comportamiento que restringen los resultados de la dinámica y permiten acotar lo factible. Esto da, paradójicamente, la certeza de que la aspiración de predecir es inaccesible y provee, a la vez, nuevas herramientas para el pensamiento, un instrumental que nos permite comprender cómo surgen las estructuras merced a la interacción de muchos componentes relativamente homogéneos y simples.

En este libro de título borgesiano brota, junto a la visión de HERÁCLITO, la definición del Divino Ciego sobre el significado de pensar; esta función superior del intelecto de los seres humanos es olvidar diferencias, generalizar, abstraer. Sin esa capacidad, estamos condenados como FUNES, el memorioso, sólo a recordar y a llenarnos de datos que, sin una trama que nos guíe para hallar cómo se teje la urdimbre, son una maldición que no explica; al contrario, puede oscurecer y, al cabo, ocultar si se cree en que registrar implica conocer.

Así, el “Color del ruido” es un ejemplo de cómo se piensa: del arcoiris del prisma a las ondas sonoras al mundo del electromagnetismo a los terremotos y las crisis financieras... en todos estos entes podemos abstraer y generalizar componentes armónicos, leyes de potencias, autoorganización hacia la zona crítica y, con base en metáforas, matemática e imaginación — donde acaso la primera es una forma especial de la segunda— superar las diferencias y los detalles para comprender los procesos.

En una serie de ensayos memorables, CONRAD HAL WAD- DINGTON, embriólogo y filósofo de la ciencia británico, decía

de su propio trabajo a mediados del siglo pasado, que cuando estudiaba la naturaleza, hallaba epigénesis en todas partes; esto es, encontraba ubicuos los procesos de desarrollo — dinámicas para ir de un estadio primitivo, relativamente simple e indiferenciado, a otro con estructuras y funciones especializadas y radicalmente más complejas que las que se encontraban en el ente originador— y WADDINGTON resumía esta visión del mundo en el principio de que, en la vida, “todo es un huevo”.

Poder decir cómo, a partir del huevo se generan las formas del adulto, implica comprender cómo se dan los cambios a lo largo de un mapa de rutas definidas no sólo para cada especie sino para el conjunto de los seres vivos y sus distintos niveles de organización, desde los organismos unicelulares hasta las sociedades. Así, “todo es un huevo” equivale a “todo es morfogénesis” y tomados de la mano para dejarnos guiar por PEDRO MIRAMONTES en el recorrido de sus “Paisajes”, damos con que develar el misterio del desarrollo implica también comprender el de la evolución biológica y esto, al menos, sugiere un método para aproximarse al estudio de las transformaciones sociales, económicas, políticas y culturales.

Por cierto, en el muy amplio espectro de temas abordados en esta antología subyace una preocupación constante por la historia, la sociología y la economía política de la ciencia. Pedro encuadra siempre el tratamiento de los asuntos que propone en contextos de oposición dialéctica, de lucha de contrarios, de intereses hegemónicos y resistencias al avasallamiento; es el suyo un manifiesto para exhibir que el concepto heracliteano y marxista de la lucha y el conflicto, fuerzas motrices de la evolución en su sentido más amplio, impregnan también el universo del conocimiento científico pero es en “Demonios” donde aborda abiertamente las contradicciones más trascendentes relacionadas con el desarrollo de la ciencia bajo la hegemonía del complejo empresarial-financiero-tecnológico-científico-político-militar que hoy, por hoy al menos, se ha adueñado del mundo y lo controla para asegurar la rapiña de unos cuantos

sobre la inmensa mayoría de los habitantes del planeta.

La oposición entre razón y emotividad, Ilustración y Romanticismo, que puede seguirse a lo largo de la historia de la cultura occidental en los dos últimos siglos, fue resumida en 1799 por don FRANCISCO DE GOYA Y LUCIENTES en *El sueño de la razón produce monstruos*, según el pintor aragonés: un “intento” sólo por “desterrar vulgaridades perjudiciales y perpetuar con esta obra de caprichos” grabados al aguafuerte “el testimonio sólido de la verdad”. MIRAMONTES nos propone, lo mismo en este su ensayo como en todo el libro, varias formas de conjurar aquellos monstruos y exorcizar estos demonios.

Signos de otra batalla —al cabo, la misma de FRANCISCO DE GOYA contra las vulgaridades— están presentes aquí y allá en el caudal de este río: en “Bolitas”, PEDRO hace la crítica de la homeopatía. Para explicar la popularidad actual de esta doctrina médica, se refiere primero a la zozobra que produce en la gente el estar a merced del poder del imperialismo globalizado y sin contrapesos y sugiere que el temor individual lleva al ciudadano común a refugiarse en muy distintas formas de pensamiento mágico. La desconfianza, el miedo que abrumba a millones de seres humanos a quienes se les niega la esperanza, ha hecho religión (de *re-ligare*, volver a unir lo que se separó y permanecía así) del rechazo a la ciencia y al uso de la razón.

Por ello, en los últimos dos decenios ha crecido una resistencia ciega y torpe que, al renunciar a la crítica, alimenta la ignorancia y el autoengaño: emparentada con el posmodernismo y el relativismo cultural alienta rituales, por ejemplo, para llenarse de energía en las pirámides de Teotihuacan o de El Tajín cada equinoccio y la gente vuelve, masivamente, a recurrir a diversas artes adivinatorias para conservar la salud, el amor y el trabajo. La homeopatía, una doctrina terapéutica hija, quién lo pudiera imaginar, del Siglo de las Luces, es sometida a juicio y aunque PEDRO convoca a sus lectores a una revisión desapasionada del asunto, él mismo no la logra.

Es el séptimo ensayo un homenaje a nuestros mayores: a los de PEDRO y a los míos; una cálida biografía del naturalis-

ta escocés D'ARCY WENTWORTH THOMPSON, sombra tutelar de quienes nos dedicamos a la investigación, la difusión, la enseñanza y el aprendizaje de la biología matemática, disciplina híbrida cargada de futuro, cuya primera gran obra es el tratado de D'ARCY sobre el crecimiento y la forma cuya edición definitiva se extiende a lo largo de mil ciento dieciséis páginas escritas en la más pulcra y elegante prosa inglesa y que parece ser, por desgracia, desconocida para la inmensa mayoría de nuestros colegas biólogos.

El encuentro con los temas que se tratan aquí deja, quizá, más inquietudes y dudas que certezas y es ésta su principal virtud. Como antología de textos de divulgación sobre la dinámica de los procesos y la emergencia de la estructura, cumple con sugerir más que con pontificar y ofrece una panorámica erudita e inteligente, atravesada por la pasión de quien la ha escrito, de intensas controversias en el pensamiento científico de nuestros días.

JOSÉ LUIS GUTIÉRREZ
Ciudad de México
Primavera del 2010

Índice general

El Maligno	2
Predecir	22
Color	42
Paisajes	64
Demonios	86
Bolitas	104
San Andrés	124
Mitos	144



Agradecimientos

NADA de lo que yo escriba en lo que me resta de vida estará completo si no se lo dedico a GERMINAL COCHO. Imprescindible incluir en este párrafo al *Ex-Ens*, o lo que queda de él: ALBERTO ALDAMA, FAUSTINO SÁNCHEZ GARDUÑO y JOSÉ LUIS GUTIÉRREZ. Este trabajo no hubiera sido posible sin los consejos y discusiones con JUAN MALDA, GUILLERMO GÓMEZ y muchos otros que no puedo mencionar sin correr el riesgo de agotar el espacio de un libro. ALBERTO ALDAMA y CARLOS FLORES revisaron meticulosamente el manuscrito e hicieron una gran labor. LUIS DE LA PEÑA, MANUEL LÓPEZ MATEOS y RAFAEL BARRIO hicieron comentarios invaluable para la buena marcha del libro.

ME emociona participar en el proyecto editorial CopIt concebido, creado e impulsado por OCTAVIO MIRAMONTES.

LA mayoría de los ensayos aquí incluidos fueron publicados en la revista *Ciencias* de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en un lapso que va de 1997 al 2008. Quiero agradecer a CÉSAR CARRILLO y a PATY MAGAÑA del equipo de la revista por invitarme a escribir el primero de ellos pues con eso se desencadenó la serie y también por la generosidad de permitirme usar el material que ya pertenece a la revista para formar este volumen. Gratitud especial a LAURA ISABEL GONZÁLEZ.

LAS fotografías, mi emoción y mis ganas de sonreírle a la vida son responsabilidad de ELKE KÖPPEN.



El Maligno

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

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

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

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

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

Según esta perspectiva, todo aquello que nos aleje bruscamente del equilibrio (la extinción repentina de grupos de especies, una devaluación monetaria abrupta, un *crack* de la bolsa de valores, un terremoto catastrófico o una revolución social), se considera como algo atípico, aberrante, imposible de describir dentro de los mecanismos con los que habitualmente se explican los fenómenos "normales". Por ello, al tratarse de algo

anómalo, se le buscan explicaciones *ad hoc*, fuera de los cuerpos teóricos existentes y que, más que argumentaciones científicas, funcionan como un verdadero *deus ex machina*.

Así, se proponen explicaciones exógenas como la caída de un meteorito en el caso de la extinción del Cretácico, la acción coludida de grupos subversivos como exégesis de las revoluciones sociales y las “causas que vienen de fuera” de las que todos los mexicanos sabemos y padecemos en materia económica gracias al desgobierno imperante en nuestros días.

¿Qué hay detrás de estas actitudes? A qué obedece este horror al cambio? Desgraciadamente no tengo respuesta ni estoy dispuesto a esperar por los siglos de los siglos para ver si en este mundo reina el Dios de la armonía y del equilibrio o el Maligno que pretende alterar el orden establecido.

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

A grandes males, grandes remedios

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

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

la premisa anterior se llamará “no lineal”.

Aceptar la perspectiva lineal implica que sólo causas o fuerzas catastróficamente grandes pueden producir efectos similares; es este pensamiento el que los aparta del estudio del resto de los fenómenos. En cambio, la no linealidad de los mecanismos naturales permite que causas pequeñas produzcan efectos enormes y que causas enormes produzcan efectos despreciables o, incluso, que no engendren nada.

Desgraciada o afortunadamente, según de qué lado de la trinchera se encuentre uno, y como ingeniosamente lo acota Stanislaw Ulam “...la mayoría de los fenómenos de la naturaleza son no lineales en el mismo sentido en que la zoología es en su mayoría una zoología de no elefantes”

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

La criticalidad y la pila de arena

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

En física, un punto crítico es aquél en el cual un sistema cambia radicalmente de estructura o conducta; por ejemplo, el de punto de transición líquido-sólido. En ambos casos existen uno o más parámetros de control que el experimentador o estudioso puede cambiar o ajustar para alcanzar el equilibrio o el cambio de estructura o comportamiento.

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

Yo estoy convencido de que este término y los procesos que define

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

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

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

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

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

Imaginemos el siguiente experimento (que es una versión simplificada del que llevó a cabo el equipo de Glenn¹: Se trata de tirar, de uno en uno, granos de arena sobre una mesa. Así de sencillo.

Al principio, los granos de arena formarán una capa delgada sobre la superficie plana, esta capa se distribuirá de manera más o menos uniforme en círculos cada vez más amplios. Conforme transcurra el proceso, se empezará a levantar una pila de arena, y la pendiente de la ladera (que será digna de interés en este experimento) comenzará a alzarse y, después de un rato, algunos de los granos de arena que van cayendo provocarán la caída de granos que ya están en la pila. La intuición nos dice que el

¹H. Glenn et al. "Experimental study of critical mass fluctuations in an evolving sandpile". 1990. *Physical Review Letters*. 65, 1120-1123

tamaño y la frecuencia de estas avalanchas serán, en promedio, mayores conforme la pendiente de la ladera se haga más pronunciada. El crecimiento de la pila y de su pendiente se detendrá cuando la acumulación de la arena que se agrega se contrarreste con la que resbala por la ladera de la pila. Esto define un estado crítico que llamaremos, en este caso particular, *pendiente crítica*.

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

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

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

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

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

están bien representados por la hipérbola

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

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

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

El revuelo es mayúsculo pues se ha descubierto que hay una gran cantidad de fenómenos que dan lugar a diagramas $1/f$; notablemente, la distribución del tamaño de los temblores de Tierra —la llamada *Ley de Gutenberg-Richter*— (figura 1) que apoya la idea común de que hay muchos temblores pequeños, una cantidad regular de temblores regulares y muy pocos temblores enormes. Como la recta está en escalas logarítmicas, por cada 1000 temblores de magnitud 6 en la escala de Richter hay 100 de magnitud 7 y 10 de magnitud 8.

Los temblores catastróficos² no se salen de la norma, no tienen ningún papel especial; siguen la misma ley que todos y es la misma dinámica la que les da origen: los acomodos de las placas de la corteza terrestre. No hay que buscarle tres pies al gato; la ley es la misma para todos: grandes, medianos y pequeños.

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

Aún más, si en tales fenómenos, o en sus modelos teóricos, hay incertidumbre en la determinación de las condiciones iniciales, ésta se amplifica con el transcurso del tiempo como una potencia de éste último, lo que es una característica digna de mención pues la amplificación de las incertidumbres es una señal firme de comportamiento caótico. Sin embargo, en los sistemas con criticalidad autoorganizada, la amplificación de las incertidumbres es potencial y no exponencial; ello indica que el sistema evoluciona en el borde del caos, en un régimen que se conoce como “caos débil”. Caos débil, transición de fase, estado crítico, borde del caos; estos conceptos son, en general, sinónimos y se sabe que un sistema en ese estado maximiza su capacidad de procesamiento de información, su adaptabilidad y su capacidad de aprendizaje.

Los sistemas débilmente caóticos tienen un horizonte de predecibilidad mayor que los fuertemente caóticos, pero siguen siendo intrínsecamente impredecibles. El sueño de los meteorólogos se esfuma: Edward Lorenz comenta que una de las preguntas que más le formulan es la si-

²He usado a lo largo de este ensayo y también en todo este libro el término “catastrófico” de manera incorrecta. Lo normal es emplearlo para describir los daños causados por un desastre mientras que yo lo uso como sinónimo de “enorme”

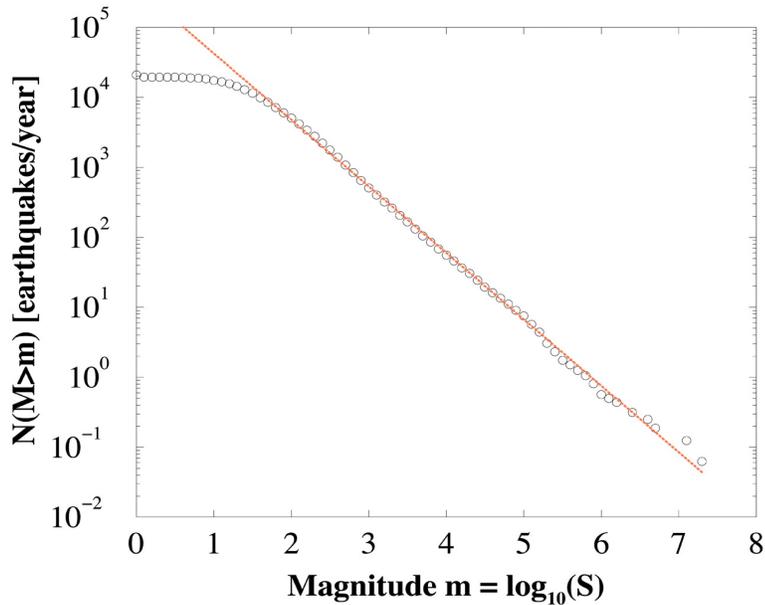


Figura 1: Gráfica en escalas logarítmicas de la abundancia relativa de temblores como función de la magnitud. La curva no es una línea recta para los temblores demasiado pequeños por la dificultad de su medición. Figura tomada de *Unified scaling law for earthquakes*, K. Christensen, L. Danon, T. Scanlon y P. Bak. *PNAS* **99**. 2002.

guiente: ¿Por qué no pueden hacer mejores predicciones del clima? A lo que él suele replicar: Bueno, ¿por qué deberíamos ser capaces siquiera de hacer predicciones? Con los sueños de los meteorólogos se desvanecen también los de todos aquellos con vocación de pitonisos: desde los que quieren predecir el comportamiento de la bolsa de valores hasta los que soñaron con encontrar las leyes que determinan el comportamiento de la sociedad.

Sin negar el indiscutible interés de lo anterior, quizá la consecuencia más sobresaliente del experimento de las pilas de arena es la enseñanza de que la consecuencia de la caída de un grano de arena es completamente impredecible y, más aún, que la misma caída puede no tener efecto alguno o provocar una catástrofe ¡La esencia misma de la no linealidad!

Estos hechos contradicen las nociones comunes de que los fenómenos de la naturaleza son lineales y echa por tierra la validez de expresiones

comunes muy arraizadas en nuestra cultura, como: “mismas causas, mismos efectos”, o bien, fenómenos complicados, modelos complicados”, “a grandes males, grandes remedios” y todos los pensamientos, gratos por simplificadores, en los que se cumplen ciertos principios de superposición y para los cuales el todo es la suma de las partes. El experimento de la pila de arena, tan sencillo como esclarecedor, muestra que existe una clase de fenómenos que se autoorganizan sin influencia ni control externos y que tenemos que acostumbrarnos a pensar que la naturaleza es intrínsecamente no lineal, caótica, impredecible y autoorganizada. No será sencillo.

Leyes de potencias

Eadem mutata resurgo
J. Bernoulli

Existe una clase de funciones en matemáticas, las funciones homogéneas

$$f(x) = cx^\alpha$$

que poseen la siguiente propiedad:

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

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

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



Figura 2: El triángulo de Sierpinski

La autosemejanza es una propiedad interesante en la naturaleza que está íntimamente relacionada con la geometría fractal. En los fractales clásicos, como el Triángulo de Sierpinsky (Figura 2), la autosemejanza quiere decir que la figura que observamos es independiente de la escala usada en su dibujo; ésta podría ser de micras o de años luz y el objeto se vería igual. También se puede destacar el hecho de que cada parte del objeto es semejante al total, un triangulito de los que forman al triángulo completo es idéntico al original. Esta conducta puede ser más

interesante si se observa en objetos naturales; en la figura 3, una fotografía aérea de la costa de Noruega, observamos fiordos pequeños dentro de fiordos grandes y fiordos aún más pequeños dentro de los pequeños y así sucesivamente. Si no nos proporcionan una referencia externa que fije una escala, la foto lo mismo puede representar un rectángulo de kilómetros de lado, de decenas o centenas de kilómetros de lados por igual. Es como las matrioshkas de los artesanos rusos. Como es imposible dilucidar cuál es la escala de la fotografía; se dice entonces que la costa de Noruega no tiene una escala propia o intrínseca y que la misma exhibe autosemejanza, o bien, geometría fractal.



Figura 3: Foto aérea de una porción de Noruega

En los últimos veinte años, a partir del trabajo pionero de Benoît Man-

delbrot (*The Fractal Geometry of Nature*), se da una explosión en el estudio de la geometría fractal y sus manifestaciones en la naturaleza. Hoy se sabe que la estructura de los alveolos pulmonares, los paisajes montañosos, las ramificaciones arteriales, los deltas de los ríos y muchos otros objetos naturales, asaz disímbolos, presentan geometría fractal.

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

Cretacic Park³

La idea dominante de la evolución biológica es el esquema darwiniano de cambio gradual y paulatino. Ése es el mejor compromiso que la ciencia victoriana pudo encontrar para maridar el agua y el aceite: el cambio evolutivo y la creencia en las estructuras inmutables de la sociedad y la naturaleza. Este esquema se ha derrumbado. Existe evidencia concluyente de que la evolución funciona mediante la alternancia de períodos de calma (*estásis*) y destellos de intensa actividad evolutiva. “Golpes de reorganización en un mundo de sistemas estables” en palabras de Stephen Jay Gould, descubridor junto con Niles Eldrige del efecto de *equilibrio puntuado* en la evolución⁴.

Aprovecho la oportunidad para expresar mi admiración por Gould; además de haber sido⁵ uno de los grandes difusores de la ciencia de nuestro tiempo, es uno de los enterradores de los argumentos vitalistas y creacionistas. Individuo de amplio criterio y fe progresista, ha combatido en todos los ámbitos las posturas racistas y sexistas que aún existen en los medios académicos⁶:

“Como científico, puedo refutar el supuesto fundamento genético de la maldad y la sinrazón de los nazis. Pero cuando me enfrento a la política nazi, debo hacerlo como cualquier

³Un juego evidente con el término *Jurassic Park*. En correcto inglés se diría *Cretaceous Park*

⁴SJ Gould and N. Eldredge. 1997. “Punctuated equilibrium; the tempo and mode of evolution reconsidered”. *Paleobiology*. 3. 114

⁵Falleció a los sesenta años en el 2002 víctima de un adenocarcinoma

⁶SJ. Gould, 1977. “Dinosaur in a Haystack”. Crown Trade Paperbacks, New York.

persona, como un ser humano. Me he ganado el derecho a involucrarme en aspectos morales porque pertenezco a los *Homo sapiens* y es ése un derecho que abriga a cada uno de los seres humanos que han florecido en este planeta y una responsabilidad para todos los que la puedan ejercer.”

El equilibrio puntuado no solamente destierra de las discusiones sobre la evolución las ideas gradualistas; creo tener argumentos que indican que el efecto va aún más allá y que golpea duramente los cimientos de la escuela sintética; pero esto es motivo de otra discusión. Sin regocijo de mi parte, pienso que Gould —pese a él— tiene en la evolución darwiniana el mismo papel que Gorbachov en el socialismo soviético: el del sepulturero involuntario.

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

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

“Pedro” a sus hijos (*sic*)”

No deja de ser simpático que siendo Gould el más reconocido defensor del carácter histórico (y por tanto, contingente, azaroso e irreplicable) de la biología, afirme de manera rotunda y determinista que la desaparición de los dinosaurios permitió la emergencia de los humanos.

No pongo en duda que muchas de las extinciones individuales se deban a efectos accidentales o exógenos, pero no me gusta la actitud generalizada de buscar, y encontrar, explicaciones distintas para diferentes realizaciones de un mismo fenómeno.

En 1967, Luis y Walter Álvarez⁷ encontraron indicios de la caída de un gran meteorito en los estratos superiores del Cretácico y emitieron la hipótesis de que este evento habría sido la causa de la extinción de los dinosaurios (se extinguieron muchos otros grupos, pero así se le llama familiarmente a este evento) La comunidad biológica reaccionó de manera violenta en contra por dos razones: primera, porque la hipótesis va contra la idea del cambio gradual y paulatino y, segunda, porque los Álvarez son físicos⁸ y a los biólogos les molesta enormemente que los físicos se metan en sus asuntos⁹.

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

⁷Luis Álvarez, ganador del premio Nobel en física, formó parte en los setenta del siglo pasado del *Grupo Jasón*. Dicho grupo se formó para asesorar al gobierno de los Estados Unidos en el diseño sistemático y “científico” de herramientas y tácticas para llevar a un óptimo el daño contra la población, civil y armada, de Vietnam en el conflicto que los EU se vieron involucrados en la antigua Indochina y del cual a la larga saldrían derrotados. Se recomienda la lectura de “El proyecto Jason”, R. Gutiérrez y O. Miramontes, *Ciencias*, enero-marzo de 1983

⁸En realidad, Walter es geólogo

⁹Para el infortunio del chauvinismo biológico, la mayoría de los biólogos teóricos son físicos

¿del susto?) y mientras no se dé una argumentación satisfactoria de los tiempos efectivos de la extinción, aún no se sabe cuanto tiempo abarcó la desaparición e incluso existe evidencia que indica que muchos de los grupos extintos, que se cargan en la cuenta del impacto, ya se habían esfumado de la faz de la Tierra cuando cayó el meteorito.

Quizá todo esto sean detalles y con el tiempo, con ingenio y aplicación, se les pueda forzar a cuadrar dentro de un marco narrativo mas o menos coherente. Pero son precisamente el rebuscamiento y la propensión a elaborar narraciones históricas lo que no me gusta; prefiero y pretendo convencerles de que es preferible elaborar teorías verificables aunque éstas posteriormente no pasen por el tamiz de la comprobación. Ya vendrán otras y mejores.

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

Existe trabajo serio en este sentido; aunque las ideas de la criticalidad autoorganizada sean jóvenes, ya se tienen modelos muy atractivos que reproducen maravillosamente bien los datos paleontológicos e históricos de las magnitudes y tiempos de extinciones a lo largo de la existencia de la vida en la Tierra. Las publicaciones de Bak y Solé, con sus respectivos colaboradores, son muy recomendables¹⁰.

El asalto al palacio de invierno

Quizás a estas alturas, los lectores hayan sacado ya sus propias conclusiones y estén pensando en otro aspecto polémico de este mundo: las revoluciones sociales. En la primera parte señalé que las convulsiones sociales se estiman como “inconvenientes” pues se les juzga desde el punto de vista de la moral y, como todos sabemos, la moral y la ética no son úni-

¹⁰P. Bak, H. Flyvberg y K. Sneppen. 1994. “Can we model Darwin?”. *New Scientist* **12**. 36. Y R. Solé, J. Bascompte y S. Manrubia. 1995. “Bad genes or weak chaos”. *Proceedings of the Royal Society of London*. **263**. 1407.

cas. José Luis Gutiérrez lo dice así: "La visión inmovilista, que descansa sobre el principio del mantenimiento del *status quo* implica una ética autoritaria establecida, de una vez y para siempre, por los grupos dominantes. La concepción dinámica, por el contrario, implica necesariamente una ética revolucionaria."

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

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

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

Asimismo, existen grupos de trabajo (consulte la literatura sugerida) que están formulando teorías macroeconómicas que descansan sobre el mismo formalismo. No quiero terminar esta sección sin alertar a los lectores contra el uso fácil y acrítico de las ideas de la criticalidad autoorganizada. Desafortunadamente, es muy fácil construir un discurso deslumbrante pero vacío usando su terminología y hay quienes lo hacen; grupos *new age*, neohippies y, desgraciadamente, académicos de centros de investigación.

Del Maligno

No es fácil aceptar la organización espontánea de la materia, la emergencia de patrones y formas sin causa aparente, la pérdida de la simetría; tampoco lo es conceder que las fluctuaciones de los fenómenos naturales,

las pequeñas y las grandes, sigan las mismas leyes; no es fácil, los medios científicos integrados por gente entrenada para indagar y para razonar, son paradójicamente reacios al cambio y extremadamente conservadores.

Lo nuevo, lo desconocido, provoca miedo e inseguridad. Max Planck¹¹ con su característica claridad, nos advierte:

“Una innovación científica trascendente no se gana su lugar gradualmente, mediante la persuasión y el convencimiento de sus oponentes. Rara vez sucede que Saulo se torne en Pablo¹². Lo que sucede es que sus oponentes mueren gradualmente y que las siguientes generaciones se familiarizan con las nuevas ideas desde el principio.”

Luzbel, el ángel caído, atenta contra el orden y el equilibrio del mundo; su ciego orgullo lo lleva a tratar de usurpar el lugar del único, del verdadero Dios. A todos aquellos, científicos o no, renuentes al cambio, bien les vendría incluir en sus rezos nocturnos la oración recomendada en el *Enchiridion* del Papa León III:

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

¹¹Citado por G. Holton en *Thematic Origins of Scientific Thought*. 1973. Harvard University Press. Se puede también consultar al respecto a: T.S. Kuhn, 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.

¹²Dice la Biblia en los *Hechos de los apóstoles* que Saulo de Tarso era un perseguidor de cristianos y que en una incursión armada, dirigida por él para combatir a los seguidores de Jesús en Damasco, un rayo del Señor los derribó de su caballo y Jehová le reveló que el Nazareno era el verdadero Mesías. Saulo se convirtió al cristianismo y cambió su nombre por el de Pablo

ESTE ensayo ha provocado, y espero que lo siga haciendo, una gran cantidad de comentarios polémicos desde su publicación en la revista *Ciencias*¹³ en el número de abril-junio de 1997. En un estudio realizado por Laura González Guerrero¹⁴ de la Facultad de Ciencias de la UNAM en el 2008, este artículo ocupó el quinto lugar entre los más gustados en la historia de la revista.

Buena parte de los comentarios críticos recibidos por este artículo se refieren a la extinción del cretácico. Cuando en 1980 los Álvarez junto con Frank Asaro y Helen Michel dieron a conocer su descubrimiento de un estrato sedimentario inusualmente rico en iridio y postularon que era el remanente de un meteorito que había caído en un momento coincidente con la línea K-T (cretácico-terciario), la comunidad biológica se mostró un poco reacia a aceptar la hipótesis de que la extinción del cretácico (la de los dinosaurios) había sido causada por la caída de un meteorito. De aquel entonces a la fecha las cosas han cambiado: se ha encontrado un cráter en Yucatán cuyas características coinciden en tiempo y tamaño con lo predicho por los Álvarez y hace unos días, Peter Schulte y una cincuentena de colaboradores acaban de publicar un artículo¹⁵ donde exponen su evidencia acerca de la relación entre el asteroide de Yucatán y la extinción masiva del cretácico. Este trabajo es, desde luego, bienvenido pues aporta elementos a un debate que está lejos de considerarse terminado. Existen muchos grupos de trabajo alrededor del mundo, notablemente, los de G. Keller (Princeton), W. Stinnesbeck (Karlsruhe) y T. Adatte (Neuchâtel) que a su vez han expuesto evidencia que apoya la hipótesis de que la caída del asteroide de Yucatán antecede por varios miles de años la línea K-T. Hay otras líneas de trabajo que proponen que la extinción del cretácico se debió a una fenomenal erupción volcánica que duró alrededor de cuarenta mil años en la región de lo que ahora es Bombay en La India y que arrojó millones de millones de toneladas de lava y de gases tóxicos a

¹³La revista *Ciencias* es una publicación bimestral de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México

¹⁴L.I. González Guerrero, 2008. Percepción de la Revista Ciencias en sus lectores. Tesis profesional, UNAM. Se puede consultar en:
<http://www.dgbiblio.unam.mx/index.php/catalogos>

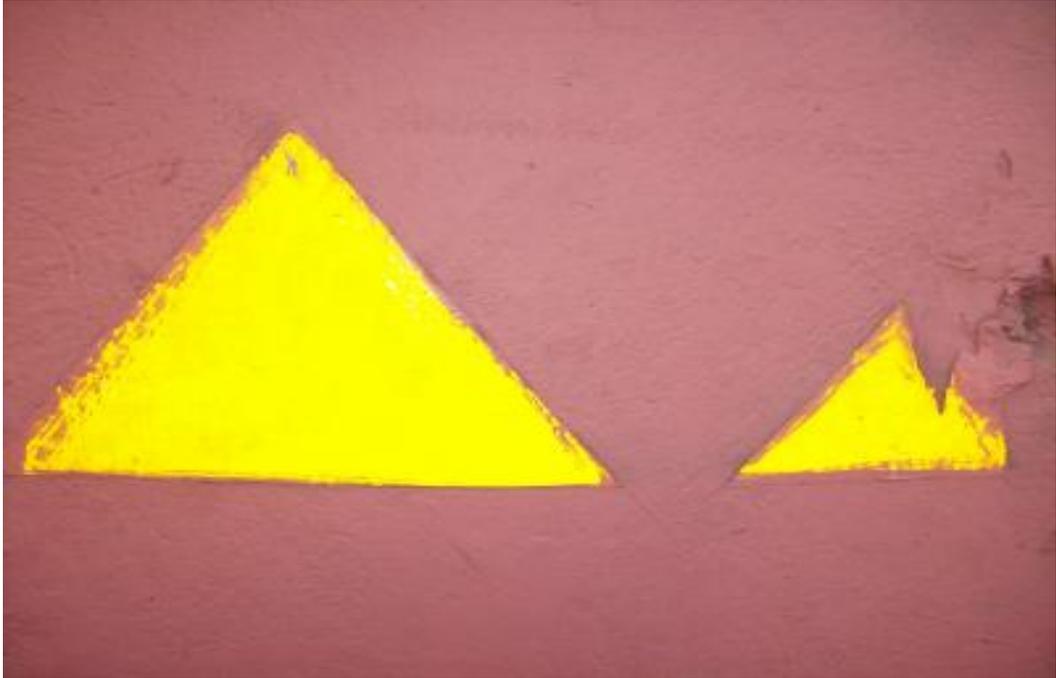
¹⁵P. Schulte et al. 2010. The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. *Science*, 327. 1214-1219

la atmósfera y que coincide en tiempo con tales extinciones. Esta hipótesis está un poco alicaída.

Tanto en el caso de la teoría del meteorito yucateco como en la de los volcanes de La India, quedan aún muchas cosas por explicar: no se sabe porque algunos linajes enteros se extinguieron y otros no. No se sabe porque los dinosaurios se fueron completos (menos los que dieron lugar a las aves) y los anfibios apenas notaron que habían pasado la línea K-T. Gran parte de las plantas se extinguieron pero todos los helechos se incrementaron en abundancia y diversidad. A los mamíferos prácticamente no les pasó nada, como tampoco les pasó casi nada a los reptiles no dinosaurios. Otro asunto pendiente es que algunas de las extinciones comenzaron cientos de miles de años antes de la caída del meteorito y otras millones de años después.

En resumen; la hipótesis del asteroide yucateco gana terreno pero el asunto de la extinción del cretácico no es cosa juzgada.

El punto central del capítulo, desde mi punto de vista, sigue en pie. Se debería, sistemáticamente, buscar explicaciones generales a los fenómenos de la Naturaleza en lugar de explicaciones *ad hoc* y específicas para cada acontecimiento.



Predecir

EDWARD Lorenz fue¹⁶ profesor de meteorología en el prestigiado Instituto de Tecnología de Massachusetts. La suya es una profesión sujeta a presiones y burlas. La navegación marítima, el tráfico aéreo, la agricultura y muchas actividades de gran importancia económica en las sociedades modernas dependen, en buena medida, de la confianza que se pueda tener en los reportes del clima. Y eso genera presiones intensas para que los meteorólogos predigan y lo hagan bien.

En su excelente libro *The Essence of Chaos*, cuenta Lorenz que uno de sus sueños más anhelados es que alguien (de preferencia un periodista) le pregunte:

—¿Por qué no hacen ustedes mejores previsiones del clima?

Para poder responderle:

—¿Y por qué deberíamos hacerlas? Es más, ¿por qué tendríamos que albergar esperanzas con respecto a la posibilidad de prever, aunque fuera parcialmente, el futuro?

La humanidad lo ha intentado desde tiempos lejanos: Delfos, Dodona, Tebas, Delos, son unos cuantos de los santuarios otrora dedicados a otear el porvenir. Los oráculos eran parte importante de la vida cotidiana, y consulta obligada ante sucesos extraordinarios. Reyes y gobernantes helénicos comparecían ante la Pitonisa de Delfos; los emperadores romanos lo hacían ante *Fortuna Primigenia*, en lo que ahora es la ciudad italiana de Palestrina.

No es necesario retroceder tanto en el pasado. Hace unos pocos años, durante el paso de Ronald Reagan por la presidencia de Estados Unidos, en la Casa Blanca había una astróloga de planta; en tiempos recientes, en México, tanto policías como ladrones (que suelen ser los mismos) han sido clientes¹⁷ de clarividentes como *La Paca* o de sus colegas.

El notable profeta hebreo Jeremías sostenía que no hablaba por sí mismo, sino que era vehículo de una fuerza divina, y —muy acorde con

¹⁶Falleció en el 2008 a los noventa años de edad

¹⁷En 1996, el fiscal especial para el crimen de José Francisco Ruiz Massieu, Pablo Chapa Bezanilla se ayudó de una clarividente, Francisca Zetina *La Paca*, para encontrar el cadáver de un diputado, supuestamente involucrado en el crimen, en una propiedad del hermano del ex presidente mexicano Carlos Salinas de Gortari. Poco después se supo que el cadáver no correspondía al de la persona buscada y que había sido “sembrado”. El escándalo que siguió a estos hechos provocó la renuncia de Chapa Bezanilla y del procurador general de la república, Antonio Lozano Gracia

la tradición judía— se especializó en predecir calamidades y desgracias como castigo por el desapego de su pueblo a los mandatos de Jehová.

Casandra, hija de Hécuba y Príamo de Troya y por lo tanto hermana de Héctor, también obtuvo el don de la profecía directamente de un dios. Fue Apolo quien, a cambio de la promesa de obtener sus favores amorosos, le otorgó la facultad de mirar en el futuro. Una vez que la tuvo, se negó a cumplir su parte del trato y Apolo se vengó condenándola a que sus predicciones —por lo general infortunios— nunca fueran creídas.

Artemidoro Daldiano escribió en el siglo II de nuestra era un tratado de clarividencia a través del onirismo; su *oneirocritica* (el tratado de los sueños) allanó el camino para que en el siglo XX otro adivinador genial, Sigmund Freud, nos embelesara con sus tratados modernos de vaticinio.

Después de un matrimonio afortunado con una viuda rica, Mahoma pudo dedicarse a la cavilación contemplativa, y a los cuarenta años de edad fue objeto de la revelación divina por medio de una aparición del arcángel Gabriel. Sus profecías eran en buena parte preceptos morales y estaban dirigidas a proporcionar los fundamentos éticos de una religión que hoy transita por su edad media.

En el siglo XVI Nostradamus sentó las bases de la profecía como oficio moderno, al emitir designios que si se cumplían eran aclamados; de lo contrario, se alegaba (y se alega todavía) que “estaban aún por venir”. Tiempo después, Guiseppe Cagliostro ganó el favor de la nobleza francesa por su ingenio de mago, profeta y vidente, virtudes que no le fueron suficientes para predecir la muerte de sus clientes en la guillotina.

Pero quizá el designio que ha tenido la más grande influencia en la cultura occidental y que ha cambiado radicalmente la vida de una mayor cantidad de gente es el referido al día del juicio final. La religión cristiana enseña que en esa fecha ocurrirá el segundo advenimiento de Jesucristo. Será el último de nuestro mundo; Dios juzgará a sus enemigos, los muertos resucitarán, cada alma será ponderada, los justos serán separados de los malvados y la furia de un Dios Padre colérico e iracundo caerá sobre ellos.

¿Para cuándo se vaticina ese día? ésta es una de las preguntas más interesantes en la historia de la cristiandad. Según el *Libro de las Revela-*

ciones¹⁸, la fecha fatal vendrá exactamente siete mil años después de la creación del mundo pues, afirman, Dios fabricó al mundo en seis días y descansó el séptimo. Y dado que su tiempo no es el nuestro “No ignoréis esto que os digo: que un día es para el Señor como mil años y que mil años son su día” (Pedro 3:8).

El fin del mundo ocurrirá a la medianoche del último día de una semana de Dios, siete mil años nuestros. Esto implica que para conocer con precisión la fecha del fin del mundo, lo único que se necesita es saber cuándo exactamente fue el principio¹⁹ y sumarle siete milenios. Esta tarea ha sido y seguirá siendo emprendida por mucha gente: Sexto Julio Africano (180-250) anunció que el cataclismo sería en el año 500 de nuestra era. Como resulta evidente, le fallaron las cuentas y su revés estimuló a otros a probar suerte. Entre ese cúmulo destaca el monje francés Radulfo Glaber, quien determinó que la fecha fatídica sin lugar a dudas era el año 1000. A diferencia del Africano, Glaber estuvo vivo para soportar la vergüenza de su fracaso, que no fue lo suficientemente grande para inhibirlo e impedir que lo intentase de nuevo. Esta vez alegó que el verdadero fin del mundo vendría en el 1033, el milenio de la pasión de Cristo. Sus fiascos tuvieron como feliz e involuntaria consecuencia el incremento del patrimonio artístico de la humanidad, pues los fieles —agradecidos de no haber sido testigos del día del juicio final— se dieron a la explosiva construcción de iglesias góticas por toda Europa.

Tiempo después, el arzobispo primado de Irlanda²⁰, monseñor James Ussher (1561-1656), anunció con absoluta precisión el momento exacto de la creación: las 12:00 horas del 23 de octubre del 4004 antes de Cristo, ni un minuto más ni un minuto menos. Si le sumamos siete mil años a esta fecha para saber cuándo este mundo pecador dejará de existir ¡resulta que

¹⁸También llamado *El Apocalipsis de San Juan*. Es el último libro del nuevo testamento, se piensa que fue escrito por varios autores anónimos a finales del siglo I de nuestra era y posteriormente atribuido a Juan, el discípulo favorito de Jesús.

¹⁹Para un recuento a la vez gracioso y crítico de las vicisitudes de este cálculo, se recomienda el reciente libro *Questioning the Millennium*, de Stephen Jay Gould (Random House, 1997).

²⁰En el citado libro, Gould hace un divertido juego de palabras con la expresión inglesa “The Primate of Ireland”, que lo mismo significa “el arzobispo primado de Irlanda” que “el simio irlandés”.

la catástrofe ocurrió el 23 de octubre de 1997 y no nos dimos cuenta!²¹

La primera plana del diario *La Jornada* del 24 de octubre consigna en sus titulares: Caída de 4.5 % en la Bolsa, el peso retrocede. ¿Será que Dios usó el índice de valores de la Bolsa como balanza para separar justos de pecadores?

Predecir o no predecir...

Augures, adivinos, profetas, quirománticos, teólogos, políticos y todo un ejército de profesionales de la adivinación han extasiado a la humanidad durante siglos, y por lo que se ve ninguno ha acertado en sus vaticinios. ¿Por qué diablos los meteorólogos lo han de hacer?

—“Porque son científicos y la ciencia predice” -responderían a coro positivistas, empiricistas, estadísticos y seguidores del Círculo de Viena.

—“Nada de eso” -exclamaría Karl Popper (1902-1994), filósofo inglés que se inscribió en la escuela del indeterminismo metafísico. -“Pensar que si se tiene el suficiente conocimiento de la física y de la química, usted podría predecir lo que Mozart escribiría mañana, es una hipótesis ridícula”.

—“Predecir no es explicar...”, terciaría René Thom.

¿Quién tiene la razón? A mi juicio, la discusión sobre el posible papel predictivo de la ciencia es estéril. En todo caso, primero habría que alcanzar un acuerdo sobre qué quiere decir exactamente “predecir”. El determinismo es un concepto importante por la relación que guarda con las nociones de causalidad y de predictibilidad. La Enciclopedia Británica define claramente: “Determinismo. Teoría de que todos los eventos, incluyendo las elecciones morales, son totalmente determinados por causas preexistentes. Esta teoría afirma que el universo es completamente racional, puesto que el conocimiento total de una situación dada asegura el conocimiento inequívoco de su futuro.”

Si un esquema es predecible, entonces tiene que ser necesariamente determinista, mientras que lo contrario no es cierto. Diversos autores hacen la distinción entre lo que es la predicción y la predicción estadística.

²¹Por supuesto que este cálculo es incorrecto: del año 4004 antes de Cristo a nuestros días el calendario en uso ha cambiado, al menos, dos veces.

En este ensayo concibo a la primera en el sentido del determinismo laplaciano y no voy a referirme a la segunda (para mí, la afirmación: “la probabilidad de que en el próximo volado caiga águila es del cincuenta por ciento”, definitivamente, no predice cosa alguna).

Coincido con la frase de Thom. Desde mi punto de vista, el papel principal de la ciencia es explicar. Si su tarea fuese predecir estaría en un grave aprieto, pues parece ser que los sistemas de la naturaleza que constan de varios elementos interactuantes entre sí de manera no lineal son intrínsecamente impredecibles. Para elaborar esta afirmación tendremos que revisar algunos conceptos clásicos y presentar al protagonista de este ensayo: *El caos*.

Caos ¿de dónde viene la palabra?

En 1580 nació Jan Baptista van Helmont en Bruselas, ciudad que en ese entonces formaba parte de los Países Bajos españoles. Van Helmont descubrió que existen otros gases además del aire y demostró que los vapores emitidos por la combustión de carbón eran los mismos que se producían al fermentar el jugo de las uvas (bióxido de carbono). Fue él quien inventó la palabra *gas* a partir de la voz griega $\chi\alpha\omicron\sigma$.

¿Por qué eligió ese término y no otro? Van Helmont era individuo cultivado y con buena educación²², y aprovechó un vocablo griego cuyos varios significados se pueden asociar con las propiedades de un gas.

Si nos ubicamos en una época en la que posiblemente era un poco difícil concebir la existencia de algo que no se pudiese ver o tocar, podremos comprender porqué la elección cayó sobre un término que, entre sus múltiples acepciones²³, tiene las siguientes: primer estado del universo; materia amorfa; extensión o envergadura del universo; abismo inferior;

²²Van Helmont estudió en la prestigiada Universidad Católica de Lovaina y necesariamente tuvo que haber aprendido griego clásico. Se graduó como médico en 1599 y trabajó como profesor de la misma universidad hasta que fue echado del cuerpo profesoral en 1622 por adherirse al trabajo de Phlippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Honenheim Paracelsus (¡que nombre!). En 1625 la Santa Inquisición condenó su obra por considerarla “herética, arrogante, imprudente y luterana”. Fue colocado en arresto conventual en 1634 por la Iglesia Católica y posteriormente fue rehabilitado públicamente en 1652, años después de su muerte, ocurrida en 1644.

²³*A Greek-English Lexicon*. H.G. Lidell. (Clarendon press, 1996).

oscuridad infinita, y oquedad o abismo muy vasto²⁴. Para los antiguos griegos el abismo aludido es el Tártaro, el inframundo, aún más bajo que el Hades, en donde pululaban las almas de los difuntos. El sentido moderno que tiene la palabra caos —como sinónimo de desconcierto, confusión, embrollo, lío, etcétera— fue forjado por Publio Ovidio Nasón (43ac-17dc) en sus *Metamorfosis*, un enorme poema en versos hexámetros que es una colección de mitos y leyendas. Las historias se desenvuelven en orden cronológico; la primera y la última se refieren a la creación del orden a partir del caos. La primera metamorfosis es la transición de un universo amorfo y desordenado a uno ordenado: *El cosmos*²⁵. La última metamorfosis, la culminante, es la muerte y deificación de Julio César; la transformación del caos de las guerras civiles romanas en una paz brillante y magnífica: la *pax augusta*.

Los antecedentes

Galileo sentó las bases de la ciencia moderna al matematizar algunos fenómenos de la mecánica; él es uno de los “gigantes” en los cuales se apoyó Newton para concebir y producir su obra magnífica, tanto que una vez complementada por pensadores de la talla de los hermanos Bernoulli, entre otros, nos heredó una visión de un universo completamente racional y en el que, cual mecanismo de relojería, el conocimiento de la reglas de funcionamiento y de las condiciones en un instante dado, nos garantizan el conocimiento inequívoco de todo el futuro.

La teoría newtoniana se ganó el respeto y la admiración de todos cuando Edmund Halley, en 1705, pudo predecir con gran exactitud el retorno del cometa que ahora lleva su nombre. La posibilidad de predecir los eventos futuros, el llamado *determinismo laplaciano*, generó un gran entusiasmo que fue formulado por Pierre Simon, Marqués de Laplace (1749-

²⁴Es interesante notar que la palabra inglesa para abismo es *chasm*, que se deriva directamente de *caos*

²⁵La oposición dialéctica entre caos y cosmos es fuente generosa de inspiración: “El mundo, para el europeo, es un cosmos, en el que cada cual íntimamente corresponde a la función que ejerce; para el argentino es un caos”. J.L. Borges (1899-1986). “A todo caos le corresponde un cosmos, a todo desorden un orden oculto”. Carl Jung (1875-1961)

1827)²⁶ y que coincide conceptualmente con el bello canto del poeta persa Omar Jayam (1048-1131) refiriéndose al Creador: “Y la primera mañana de la creación escribió lo que se leería en la cuenta final del último día”.

Curiosamente, también fue Laplace uno de los fundadores de la teoría de las probabilidades, aunque el azar para él era una medida del desconocimiento o ignorancia humana de las condiciones de un sistema. A partir del tiempo de Laplace, los fenómenos naturales que cambian al transcurrir el tiempo se encajonaban en dos clases: los llamados sistemas deterministas —cuyo estado presente determina de manera unívoca y predecible su estado futuro— y los aleatorios, en los cuales el estado futuro puede ser cualquiera y no se puede predecir sino a la luz de una distribución de probabilidad.

Hasta tiempos recientes, esta dicotomía ha sido guía de trabajo de la gran mayoría de los científicos; el escenario estaba perfectamente claro: los fenómenos son deterministas y, en ese caso, predecibles; la única barrera para conocer el futuro es nuestro grado de conocimiento (o ignorancia) de las condiciones iniciales y de las ecuaciones dinámicas del sistema. O bien, son azarosos y tenemos que conformarnos con conocer sus propiedades probabilísticas y renunciar al sueño de la predicción. En pocas palabras: un universo como maquinaria perfecta de relojería, como una película en la cual aunque no hayamos visto los cuadros futuros, ellos ya están ahí, esperando que llegue el momento de ser proyectados. O un universo en el que Dios decide todos los detalles y, por lo tanto, es inaccesible al conocimiento humano, dado que Dios es una metapresencia, y entonces para los humanos el transcurso de la historia es ciego y azaroso.

Newton resolvió el problema de dos cuerpos afectándose mutuamente debido a su atracción gravitacional: cada uno de ellos viaja en una órbita elíptica en torno al centro de masa común, y el comportamiento es periódico y predecible por siempre. De esta manera se podría concluir que la Tierra girará alrededor del Sol por los siglos de los siglos y que es-

²⁶“Una inteligencia que conociese en un momento dado todas las fuerzas que animan la Naturaleza y también las posiciones de los objetos que la componen, si esta inteligencia fuera capaz de analizar esos datos y condensar en una fórmula el movimiento tanto de los objetos más grandes del universo así como del átomo más modesto, para esta inteligencia, no existiría la incertidumbre, y tanto el futuro como el pasado desfilarían ante sus ojos.”

te sistema es completamente estable. Sin embargo, el problema es que la Tierra y el Sol no son los únicos cuerpos del sistema solar, pues se hallan acompañados de otros planetas con sus respectivas lunas.

Una serie de notables matemáticos —vale la pena mencionar a Félix Delaunay (1845-1896)— se dieron a la tarea de avanzar un escalón más, resolviendo el problema de tres cuerpos; para estimular estos esfuerzos, en 1887 el rey de Suecia ofreció un premio de 2 mil 500 coronas a quien demostrase que el sistema solar es estable.

Henri Poincaré se llevó el premio con su trabajo *acerca del problema de los tres cuerpos y de las ecuaciones de la dinámica*. En el camino no sólo desarrolló técnicas matemáticas muy poderosas —la teoría de las expansiones asintóticas y el estudio de ecuaciones diferenciales con singularidades—, sino que inventó la topología, una nueva rama de la matemática que la revolucionó por completo. Sin embargo, su solución sólo es parcialmente correcta.

Poincaré trabajó el modelo reducido de Hill. En este modelo se supone que el tercer cuerpo es demasiado pequeño con respecto a los otros dos, y que su existencia no los afecta (pero la de ellos sí afecta al pequeño). Bajo estas premisas, ya sabemos que los dos cuerpos grandes se moverán en órbitas elípticas y, por lo tanto, su movimiento es periódico y, por ende, estable y predecible.

Poincaré se esforzó por demostrar que el movimiento del cuerpo pequeño era también periódico, pero lo que encontró lo llenó de asombro:

“...Se queda uno tan pasmado ante la complejidad de esta figura, que ni siquiera intentaré dibujarla...”²⁷

El tercer cuerpo seguía una trayectoria aperiódica, irregular e impredecible, pese a estar sujeta a leyes deterministas. El pasmo no era para menos: Poincaré se encontró de frente con un comportamiento dinámico que desafiaba todo lo que los matemáticos y físicos habían creído hasta ese momento; algo que parecía una criatura mitológica, una mezcla inconcebible de orden con desorden, de determinismo con aleatoriedad, de armonía y confusión. Ese monstruo se llama *Caos*, y aunque Poincaré lo

²⁷Poincaré no se refería a la forma de la trayectoria de la partícula, sino a una sección de Poincaré del espacio fase. Consultar el libro citado de Ian Stewart

tuvo en sus manos, no pudo identificarlo cabalmente ni aprovechar todas sus consecuencias científicas y filosóficas.

Era un descubrimiento prematuro para su tiempo; por eso Poincaré no pudo —pese a ser un gran filósofo de la ciencia— evaluar su magnitud. No obstante, se dio perfecta cuenta de que la mecánica clásica ya no sería la misma: “...Sucede que pequeñas diferencias en los estados iniciales producen diferencias enormes en el estado final. Un pequeño error en primeros se traduce en un error enorme en el último. La predicción se vuelve imposible, y entonces decimos que tenemos un fenómeno azaroso.”

El mérito de Poincaré es indiscutible; con la invención de la topología abrió un camino alternativo ante el desarrollo exclusivamente analítico del estudio de los sistemas dinámicos que había impulsado Laplace, y devolvió la mecánica a su cuna: la geometría. No estaría de más que los topólogos contemporáneos recordasen que su disciplina —considerada entre las más abstractas- nació de la física.

El trabajo de Poincaré fue continuado por una gran serie de luminarias. Desgraciadamente sería imposible contar aquí la historia con detalle. Reconociendo que faltan más que los que están, quiero mencionar al menos a George Birkoff, Andrei Nicoláievich Kolmogorov, Yakov G. Sinaí, Vladimir Igórevich Arnold y Stephen Smale.

El mismo Lorenz

En 1963 apareció un artículo titulado “Deterministic Nonperiodic Flow” en *The Journal of Atmospheric Sciences*, firmado por Edward Lorenz. Hace treinta y cinco años éste tuvo la misma visión que Poincaré, pero él sí se percató de la magnitud de su (re)descubrimiento. Veamos algo del resumen del artículo: “...Estados iniciales pueden dar lugar a estados que difieren considerablemente... Todas las soluciones encontradas son inestables y casi todas son aperiódicas... La viabilidad de la predicción climática a largo plazo se discute a la luz de estos resultados.”

¿De qué soluciones está hablando? Lorenz describió un sistema de tres ecuaciones diferenciales de primer orden, ordinarias, acopladas y no lineales, para modelar la convección térmica en la atmósfera. El análisis

del sistema lineal asociado en las vecindades de los puntos críticos²⁸ no le proporcionó ningún resultado interesante, pero una vez que puso a su computadora a calcular una solución numérica usando valores cercanos a un punto que el análisis lineal clasificaba como inestable, obtuvo resultados sorprendentes.

¡Dos corridas del mismo programa, con los mismos parámetros le daban soluciones distintas! ¿El fin del determinismo? ¡No! ¡Una nueva faceta del determinismo!

Descubrió que las dos corridas mencionadas del mismo programa diferían en el número de dígitos decimales en el estado inicial de una variable.

Según James Gleick²⁹, “de repente se dio cuenta de lo que había sucedido. No había errores en las cifras que había escrito. En la memoria de la computadora se había guardado la cifra 0.506127 y Lorenz, al día siguiente, para ahorrar tiempo escribió 0.506. Lorenz pensó que la diferencia —una parte en diez mil— no tendría consecuencias”.

Lorenz había descubierto el llamado efecto mariposa: una pequeñísima perturbación —el aleteo de una mariposa en el Amazonas— podría desencadenar un efecto mayúsculo —un tornado en Texas. Este efecto es el que menciona en el resumen de su artículo, y es lo que ahora se conoce técnicamente como la sensibilidad de un sistema a sus condiciones iniciales.

Esta es una de las características más interesantes del caos; una causa pequeña puede producir efectos enormes; las fluctuaciones se amplifican de manera que el resultado de una perturbación no guarda proporción con la magnitud de ella. ¡Es la esencia misma de la no linealidad!

Imaginemos ahora que un movimiento insignificante del aire modificó en décimas de milímetro el vuelo de una abeja en el pleistoceno temprano; que gracias a eso la abeja no se vio atrapada en una tela de araña y sólo sobrevivió para fecundar una flor. Que la flor dio lugar a un fruto y que éste cayó del árbol justo en el momento que un homínido pasaba; éste lo tomó y se lo ofreció a una homínida que pasaba; ella se sintió obligada a agradecerle de alguna forma y si no hubiera sido por ello, la

²⁸Ver el primer capítulo de este libro

²⁹James Gleick, *Chaos*, Penguin Books, 1987

humanidad no se hubiera originado jamás.— Si la abeja hubiera muerto, la humanidad no existiría... ¡Caray!

Este cuento ilustra las nociones de amplificación de las fluctuaciones y de la sensibilidad ante condiciones iniciales, pero no debe tomarse demasiado a la letra; la humanidad hubiera surgido de cualquier modo. Esto se debe a que el caos no es únicamente la sensibilidad ante las condiciones iniciales. Los sistemas caóticos tienen otro rasgo importante que, por falta de espacio, no nos será posible explorar aquí: la existencia de *atractores extraños*. Con esta noción se entiende por qué los sistemas dinámicos son robustos ante contingencias históricas³⁰.

Resumamos. Lorenz encontró que un sistema determinista puede producir resultados aperiódicos e impredecibles, esa paradoja que relaciona dos comportamientos considerados hasta ese momento como incompatibles: determinismo y azar, se llama ahora *caos determinista*. Antes se pensaba que el azar surgía como resultado de nuestra ignorancia acerca de la totalidad de causas que se involucran en la evolución de un sistema; en pocas palabras, que el mundo era impredecible por ser complicado.

Recientemente se ha descubierto una serie de sistemas que se comportan de manera impredecible, pese a que las causas que los gobiernan son completamente conocidas, y a que son relativamente simples. Tales sistemas tienen en común la no linealidad y exhiben sensibilidad en las condiciones iniciales. Por ser más complicados que sus contrapartes lineales, los sistemas no lineales habían sido poco estudiados; por lo tanto, la ubicuidad del caos no se había detectado. En su candor, los físicos estaban convencidos de que la predicibilidad era una consecuencia natural de una estructura teórica correctamente establecida, que dadas las ecuaciones de un sistema, únicamente restaría hacer las cuentas para saber cómo se va a comportar.

La historia reciente

En el medio matemático se atribuye a T.Y. Li y J.A. Yorke el acuñado del término *caos* para referirse al comportamiento determinista, pero irregular y aperiódico. En su celebrado artículo "Period Three Implies Chaos"

³⁰En términos técnicos esto quiere decir que el atractor sigue siendo atractor ante perturbaciones pequeñas del campo vectorial

publicado en 1975, en el *American Mathematical Monthly*, demostraron que si un mapeo continuo de un intervalo a la recta real tiene un punto de periodo tres, entonces ese mapeo exhibe comportamiento caótico. A su vez, Yorke opina que R. May y G. Oster fueron “...los primeros en comprender cabalmente la dinámica caótica de una función de un intervalo en sí mismo...”.

Es posible que Yorke haya acuñado el término, pero el primer artículo en donde yo pude encontrar en su título la palabra caos fue en el de R. May: “Biological Populations with Nonoverlapping Generations: Stable Points, Stable Cycles and Chaos”, publicado en 1974 en *Science*, que antecede al de Li y Yorke en un año. La afirmación de Yorke acerca de la primicia en comprender la dinámica de los mapeos unidimensionales es incorrecta: en 1964, el matemático soviético A.N. Sharkovsky publicó en la revista ucraniana de matemáticas *Ukrainskii Matematicheskii Zhurnal* un artículo llamado “coexistencia de ciclos de un mapeo continuo de la línea en sí misma”, en el cual presenta de manera rigurosa y perfectamente bien fundamentada lo que May y Oster tardaron una década en comprender (Robert May reconoce que desconocía el trabajo de Sharkovsky). De paso, se debe mencionar que el resultado de Li y Yorke es un caso muy particular del teorema de Sharkovsky.

En 1982, el académico Sharkovsky y yo paseábamos por las ruinas de Xochicalco; yo intentaba explicarle, en ruso, el significado de *Quetzalcóatl* y él me miraba condescendentemente y me decía que ya lo sabía, que en Europa también había dragones. Un tema recurrente durante ese paseo fue la injusticia que Sharkovsky sentía por la apropiación de Yorke del crédito que a él le correspondía³¹. Como agradecimiento a la atención con la que lo escuché, me regaló una copia al carbón del manuscrito original de su artículo. En aquel entonces no supe apreciar el valor del obsequio y, tontamente, lo regalé a un colega. Ni siquiera me acuerdo a quién.

³¹También se habló de su disgusto con Guillermo Gómez —de la Facultad de Ciencias de la UNAM— por haberlo hecho trabajar demasiado sin respetar su edad venerable durante esa misma visita a nuestro país

Conclusiones

El caos ya es un concepto que ha ganado su legitimidad en la ciencia. Resulta imposible hacer una lista de quienes han contribuido a su fundamentación teórica y a sus aplicaciones en las más diversas áreas del conocimiento. El caos ya existe como especialidad científica por derecho propio, y la mayoría de las universidades e institutos de investigación científica del mundo han abierto centros o departamentos de las disciplinas que explotan y desarrollan el concepto de caos: la dinámica no lineal y la teoría de los sistemas complejos.

El avance de las ideas asociadas con el caos no ha sido fácil: en sus inicios se topó con la resistencia frontal de los científicos del *establishment*; aún hoy existe oposición y escepticismo en ciertos grupos conservadores a aceptar la ubicuidad de los comportamientos no lineales en la naturaleza, y al caos como su consecuencia genérica.

También es preciso reconocer que ha surgido toda clase de charlatanes quienes han encontrado en este lenguaje novedoso una fuente inagotable de ideas para nutrir modas tipo *new age*, ecomísticas y esotéricas. Esto no debe constituir una fuente de preocupación: no hay revolución científica que no le resulte atractiva a multitud de oportunistas que intentan justificar sus ideas apoyándose en su muy particular interpretación de leyes naturales o hipótesis científicas. Recordemos el uso indebido, y muchas veces criminal, que ha tenido la teoría de evolución por selección natural por parte de eugenésicos, políticos y, más recientemente, algunos socio-biólogos y psicodarwinistas.

Hay definiciones formales del caos y los conceptos que se derivan de él. El lector interesado puede consultar algún texto de sistemas dinámicos³², pero creo que toda teoría científica requiere sus metáforas propias y que, gracias a éstas, cualquier persona podrá darse una idea de la teoría más complicada. En el caso de la teoría del caos, les propongo la de Germinal Cocho, del Instituto de Física de la UNAM: -“El caos es un desmadre armónico”.

Esta caracterización me es particularmente grata, no sólo porque Ger-

³²Por ejemplo, ver *Deterministic Chaos*, de Heinz Georg Schuster, Vch Publications, 1995, o bien, *First Course in Dynamical Systems*, de Robert L. Devaney, Addison Wesley, 1992

minal es mi maestro —y lo ha sido de generaciones de matemáticos, físicos y biólogos en México—, sino porque es la más fácil de ver. Recuerde usted la mejor fiesta que haya tenido en su vida; la más divertida, en la que más ha gozado; una fiesta en la que se haya bailado y cantado hasta el cansancio. Yo le puedo apostar lo que quiera que no fue una fiesta en la que alguien pretendió que fuera completamente ordenada: todo el mundo bailando ordenada y disciplinadamente “la Macarena” o alguna canción del grupo Bronco en perfecta formación, o cantando partitura en mano bajo la dirección de un espontáneo director de coro. Tampoco fue una fiesta en la cual cada quien, de manera individual, estuvo cantando y bailando simultáneamente canciones y ritmos distintos. Seguramente fue un guateque con la dosis precisa de coherencia y despapaye para hacerla memorable y divertida; es decir, caótica.

Karl Popper murió sin comprender —pese a que se jactaba, sin fundamento, de ser su descubridor— lo que es el caos. Ahora sabemos que el perfecto conocimiento de las leyes de la física y la química no garantizan el poder de predecir. De hecho, sistemas físicos tan simples como un péndulo en el cual la masa se sustituye por un doble brazo con capacidad de giro, para los cuales se conocen perfectamente sus leyes, son igual o más impredecibles que una ruleta. También da muerte al indeterminismo metafísico y al determinismo laplaciano: el caos determinista es una síntesis dialéctica de ellos.

Para poder hacer predicciones en un sistema caótico sería necesario conocer con infinita precisión las condiciones iniciales de un sistema; esto es imposible, pues requeriría una cantidad infinita de información³³. Esto nos obliga a modificar la idea que tenemos acerca de la definición misma de ciencia, pues una de las premisas más aceptadas de lo que constituye el trabajo científico es que el resultado de un experimento sea reproducible. Ello no es posible en sistemas caóticos. La idea de la repro-

³³Si pensamos por un momento que el fenómeno que estamos estudiando obedece una función periódica, entonces basta con conocer el perfil de la función en uno de sus periodos para poder predecir infinitamente tanto al futuro como el pasado. Si esa función tuviese el doble de periodo, precisaríamos tener el doble de información para mantener nuestra capacidad de predicción, si el periodo fuese diez mil, diez mil veces sería la información original necesaria. ¿Y si el periodo fuese infinito? Pues requeriríamos una información infinita, o lo que es lo mismo, en este caso la predicción sería imposible. Las funciones caóticas tienen periodo infinito

ducibilidad como condición para que algo sea científico o no, tendrá que modificarse; será necesaria una etapa de reflexión y asimilación de todas las consecuencias que trae consigo el concepto de caos. Posiblemente será necesario rescatar las definiciones de ciencia que no la hacen depender del trabajo experimental; habrá que releer las propuestas de P.K. Feyerabend, que sugiere una ciencia sin experiencia. No lo sé, pero las cosas tendrán que cambiar.

Sin embargo, los meteorólogos no tienen por qué abandonar su trabajo. Dado que es posible conocer con precisión limitada las condiciones iniciales, también lo es hacer predicciones limitadas del futuro de un sistema. Se habla, entonces, del *horizonte de predicibilidad* de algún fenómeno o modelo.

Un sistema azaroso tiene un horizonte nulo de predicibilidad; el sueño de Laplace es un horizonte infinito. Los sistemas caóticos tienen horizontes con magnitudes que dependen de parámetros intrínsecos del fenómeno o modelo y de la escala temporal de los mismos.

Por ejemplo: el sistema solar es inestable y caótico, por lo que que un planeta de repente se fugue de su órbita y se pierda en el universo es perfectamente factible. Sin embargo, el horizonte de predicibilidad del sistema solar se estima en unos veinte millones de años, por lo que no debemos preocuparnos demasiado de que la Tierra se vaya a buscar otra estrella. En el caso de la meteorología, se calcula que el horizonte de predicibilidad es de cuatro a siete días, y esto no depende de los métodos y computadoras empleados en hacer las cuentas. Durante algún tiempo se pensó que con el desarrollo de una vasta red de satélites que proveyeran información de alta calidad, sumado al progreso innegable de computadoras cada vez más poderosas, se podría extender ilimitadamente el horizonte de predicibilidad climática. Esta es otra ilusión perdida. En una visita que Ian Steward hizo al *European Medium-Range Weather Forecasting Centre*, le dijeron, con una buena dosis de humor involuntario: "Podemos predecir el clima con precisión, siempre y cuando no ocurran cosas inesperadas".

Colofón

Tengo que confesar que dejé para el final una buena parte de la historia remota: Antes de que Ovidio le confiriera al caos su sinonimia con desorden y anarquía, un escritor griego, Hesíodo, quien nació en Boecia en el siglo VIII antes de nuestra era, le legó a la humanidad la recopilación más ambiciosa y completa que existe de la mitología griega. En ella aprendemos, como lo referí arriba, que Caos fue el estado primigenio del universo. Lo que no mencioné es que Caos es padre de Eros y, como todos lo sabemos, Eros —el amor— es la máquina que mueve al mundo.

LA teoría del caos ya ocupa un lugar bien establecido en el conjunto de disciplinas matemáticas. En el momento en que se escribió la primera versión de este ensayo (*Ciencias*, julio-agosto de 1998) todavía alcancé a escuchar que un conocido matemático mexicano negaba en una conferencia de la Sociedad Matemática Mexicana la existencia en la Naturaleza de comportamientos caóticos. Creo que la evidencia actual es tan abrumadora que ya no existe la menor duda de que el caos llegó para quedarse. Una enorme cantidad de dispositivos mecánicos, eléctricos, hidráulicos y otros exhiben comportamientos inequívocamente caóticos. Los mismo se puede decir ahora para datos fisiológicos, económicos y sociales.

Gracias a la revisión meticulosa que Alberto Aldama, de la UNAM, hizo de este texto, salió a la luz un error garrafal: En la primera sección, en donde se hace la cuenta de que la predicción del primado Ussher acerca del fin fin del mundo debería haber ocurrido en 1997, hay un error imperdonable. Haciendo bien las cuentas, como lo hizo Alberto, el fin del mundo aún está por llegar y habrá que esperar hasta el 2996 para ver si el vaticinio de Ussher se cumple o no.



Color

No es fácil encontrar algo que suscite tantos sentimientos y fantasías como el arcoiris: ¿quién, niño o adulto, no se ha soñado al pie del arcoiris descubriendo riquezas y tesoros?, ¿quién no se ha imaginado con la facultad de cruzarlo, de tocarlo y sentirlo? La literatura universal se encuentra llena de referencias al arco del cielo: leyendas, mitos, historias y poemas se han inspirado en este fenómeno. Por ejemplo, cuenta una leyenda zapoteca que el murciélago era el más bello de los seres voladores; su plumaje, rico y abigarrado, provocaba la envidia de pájaros y mariposas. El murciélago era soberbio y vanidoso de tal manera que no perdía ocasión de ofender al resto de los animales, los cuales se organizaron y presentaron una queja ante los dioses. El castigo del murciélago fue perder sus colores y éstos quedaron en el cielo formando el arcoiris.

Iris, para los antiguos griegos, era la mensajera de los dioses —el puente entre el cielo y la tierra— y se encargaba de llevar agua desde la laguna Estigia, en el Hades, hasta el Olimpo. El líquido era usado por los dioses para comprometerse, bajo pena de castigos, en votos solemnes. Asgard, el palacio celestial de los pueblos germánicos, sólo podía ser alcanzado mediante Bifrost, el puente encantado: el arcoiris, una vez más, puente entre el cielo y la tierra. Nuestro idioma, el castellano, tiene uno de los nombres más lindos para el arcoiris, pues significa precisamente eso: el arco de Iris. En otros idiomas el nombre que se le asigna al arcoiris no tiene gracia ³⁴.

El color y sus teorías

Independientemente del origen de las leyendas, el arcoiris llama la atención por la gama de colores que muestra y por su naturaleza inmaterial y etérea. Desde tiempos inmemoriales, la humanidad se ha preguntado: ¿cómo se forma el arcoiris?, ¿qué son los colores? Aristóteles decía que los colores que percibimos son distintas combinaciones del blanco y el negro. El Estagirita fue un gran pensador y ha sido el pilar innegable

³⁴Ejemplos: *Arc-en-ciel* quiere decir en francés “arco en el cielo”. *Rainbow* y *Regenbogen*, en inglés y alemán, respectivamente, son ambos “arco de la lluvia”; en italiano *arcobaleno*, algo así como “arco luminoso”. En catalán no está mal: *Arc de Sant Martí* pues cuenta una leyenda que San Martín se quitó la capa para proteger de la lluvia a un menesteroso y esa capa se transformó en el arcoiris.

de una corriente de pensamiento que sobrevive hasta nuestros días. Sin embargo, habitualmente no se preocupaba de que sus afirmaciones pasaran por la verificación experimental. No obstante, esa teoría se tuvo como cierta en Europa hasta el Renacimiento. Subrayo la palabra *Europa* pues el notable físico árabe Abu Alí al-Hasan ibn al-Haitzam, más conocido como Alhazén, ya sabía en el siglo x que la realidad de los colores no era como Aristóteles la imaginó. Alhazén nació en Basora³⁵, hoy Irak, en el año 965, trabajó y vivió la mayor parte de su vida en Al-Andalus, la España mora.

Es una desgracia que el eurocentrismo que domina nuestra educación nos estorbe el acceso al conocimiento de los científicos “no occidentales”, pues los logros de Alhazén son amplios y cubren vastos dominios de la física y la matemática. En su libro *Kitab al-Manazir* (“El libro de la óptica”), nos muestra que los colores que percibimos existen por sí mismos y que son una propiedad intrínseca de los objetos, los cuales, al ser alumbrados por una fuente de luz, emiten rayos que viajan hasta los ojos (en Europa se pensaba en esa época que eran los ojos los que emitían la luz que iluminaba a los objetos, teoría divulgada desde la antigüedad clásica por Tolomeo y Euclides). Alhazén también propuso una teoría para explicar la formación del arcoiris, pero ahí falló pues pensaba que el arco se formaba con luz reflejada por las nubes. Sin embargo, el suyo fue un intento de explicación científica, buscando relaciones entre causas y efectos. Otro árabe, que no se quedaba corto de nombre, Kamal al-Din Abul Hasan Muhamad ibn al-Hasan al-Farisi (“Kamal Farisi”, para sus cercanos, muerto en 1320 en Tabriz y cuyo lugar de nacimiento se desconoce), criticó severamente la teoría del arcoiris de Alhazén y propuso otra que hoy consideramos cierta: la de la refracción de la luz del sol en las gotas de lluvia. René Descartes redescubrió esta teoría hacia 1637. Es muy posible que él haya leído a los árabes, en particular a Alhazén, pues en Europa circulaba una traducción al latín del *Kitab al-Manazir* bajo el nombre de *Opticae Thesaurus* (“El tesoro de la óptica”). Por otra parte, Alhazén también había sentado las bases de la geometría analítica, por lo que sería

³⁵Basora cayó en manos de los invasores británicos y estadounidenses en el 2003, en la infame segunda guerra del Golfo, después de una de las más cruentas batallas. Fue la batalla de tanques más grande para los británicos después de la segunda guerra mundial.

una extraordinaria coincidencia que Descartes no hubiera tenido noticia de él, pues los fundamentos de su *Geometría* los publicó como un anexo de su propia *Óptica*.

En 1666, Isaac Newton quebró la blancura de la luz al hacer pasar un rayo de sol por un prisma. ¿Se pueden imaginar ustedes el pasmo y el asombro que debieron haber invadido al joven Isaac cuando observó que la luz blanca, tan homogénea y tan pura, en realidad estaba constituida por una hermosa gama de colores que eran exactamente los mismos que los del arcoiris? Antes los árabes se habían dado cuenta de que existen ciertos fenómenos en los cuales aparecen arcoiris, pero fue Sir Isaac el primero en llevar a cabo un experimento metódico y sistemático. Tan metódico y sistemático que el poeta John Keats creyó que el descubrimiento de Newton había despojado para siempre al arcoiris de su encanto poético y en 1819, un año antes de su prematura muerte a los 25 años de edad, publicó *Lamia*, un poema lírico de romanticismo desgarrador³⁶ en el cual lamenta que “la fría filosofía ahuyenta todos los encantos” y que “ha desmadejado al arcoiris”. Sólo aquél que desconoce ambas puede opinar que hay un abismo insalvable entre la ciencia, a la cual erróneamente se juzga fría y calculadora, y el mundo del arte, rico en sentimientos y emociones.

El rayo que cruza el prisma se descompone en una formación de colores que van del rojo al violeta y pasan por el anaranjado, amarillo, verde, azul y añil. Newton llamó a esa gama de colores, idéntica al arcoiris, *el espectro*. Un nombre curioso si nos atenemos a su significado moderno como sinónimo de fantasma. Sin embargo, *spectrum* en latín quiere decir imagen³⁷ También fue Sir Isaac quien inventó un dispositivo, el disco de

³⁶Philosophy Do not all charms fly / At the mere touch of cold philosophy? / There was an awful rainbow once in heaven: / We know her woof, her texture; she is given / In the dull catalogue of common things. / Philosophy will clip an angel's wings, / Conquer all mysteries by rule and line, / Empty the haunted air, and gnomed mine / Unweave a rainbow.

³⁷Karl Marx y Friedrich Engels, hace 150 años, empezaron su famoso manifiesto comunista con una frase dramática y ominosa a la vez: “Un fantasma recorre Europa, el fantasma del comunismo...” Los fantasmas dan miedo y, efectivamente, el fantasma del comunismo ha atemorizado desde entonces a todos aquellos que tienen privilegios malhabidos que defender. Sin embargo, Marx y Engels tal vez no quisieron que el término alemán *Gespenst* se tradujera al castellano como “fantasma” sino como “espectro”. Como vimos, en latín *spectrum* significa “imagen” y, más concretamente, imagen que perturba.

Newton, para recombinar los colores del espectro y volver a obtener la luz blanca.

Se dice que Newton descompuso el espectro únicamente en siete colores, pese a que es un continuo, como una analogía de las siete notas de la escala musical en las que se divide una octava. ¿Por qué empleó Newton este símil? Sir Isaac profesaba el hermetismo, una suerte de filosofía con tintes religiosos de origen egipcio-helénico cuyo texto fundamental, el *Corpus Hermeticum*, era una colección de escritos asociados con Hermes Trismegisto (“Hermes, el tres veces grande”, versión griega del dios egipcio Thoth). Los seguidores de estas creencias ejercían la astrología, la magia y el ocultismo. Estoy casi seguro que el origen de este arranque newtoniano de misticismo pitagórico está relacionado con sus propias ideas herméticas, pero nunca he podido confirmar esta sospecha en la literatura.

Isaac Newton y Gottfried Wilhelm Leibniz dieron a conocer al mundo el cálculo diferencial e integral³⁸. Con este descubrimiento llegaron las ecuaciones diferenciales y el mundo no volvió a ser el mismo. Estos artefactos matemáticos resultaron ser el puente entre las causas y sus efectos en un fenómeno dado. En particular, la famosísima segunda ley de Newton se escribe como una ecuación diferencial de segundo orden:

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

Y todo el mundo sabe leerla como “fuerza igual a masa por aceleración”. Sin ser incorrecta esta lectura, es importante notar que no descubre la riqueza de su contenido. Efectivamente, lo que realmente quiere decir es que las causas (fuerzas) provocan efectos (la aceleración; cambio en el estado de movimiento) y la masa es una simple constante de proporcionalidad. Esta ecuación establece que si se conocen las fuerzas que actúan

A mí me gusta más “Un espectro recorre Europa...”

³⁸Estos dos grandes pensadores trabajaron de manera independiente, en distintos lugares y distintas fechas, por lo que el descubrimiento del cálculo se debe acreditar a ambos. Sin embargo, la presentación de Leibniz (Leipzig, 1646 - Hannover, 1716) fue más didáctica, su estructura más clara y relacionada con aspectos tangibles de la realidad y su método más fácil. El cálculo que aprendemos en las escuelas, así como su notación, son eminentemente “leibnizianos”.

sobre un objeto, se podrán predecir sus efectos (siempre que se sepa resolver la ecuación). De aquí se desprende una visión del universo como un mecanismo de relojería en el cual todos los componentes están sujetos a las leyes de la mecánica y donde es posible deducir los efectos producidos por diversas causas. Desde este punto de vista, resulta normal que Newton pensara que la luz debería estar compuesta por pequeñas partículas, cada una de ellas obedeciendo las leyes de la mecánica y viajando a velocidades enormes. Y así fue: Sir Isaac se apoyó en el hecho evidente de que la luz viaja en línea recta para postular su naturaleza corpuscular. Sin embargo, la naturaleza es pícaro y cuando alguien piensa, así sea Newton, que ha dado una explicación final a un fenómeno, Madre Natura, elusiva y burlona, nos muestra facetas desconocidas y nos regresa a empellones a la modestia. En 1665, Robert Hooke descubrió el fenómeno de la difracción de la luz, en el cual los objetos no arrojan sombras nítidas y que es un fenómeno característico de las ondas.

Por la misma época, en 1669, en los países bajos, Erasmus Bartholin descubrió la polarización de la luz, fenómeno también exclusivo de fenómenos asociados a ondas y Christiaan Huygens explicó, en 1690, la refracción de la luz postulando su naturaleza ondulatoria y, aunque se negó a aceptar que las ondas luminosas fuesen transversales (hasta ese momento únicamente se conocían las ondas de sonido, que son longitudinales), su trabajo constituyó un paso decisivo para suponer que la luz es, efectivamente, una onda, a pesar de que Newton, en un fallido intento de explicación del fenómeno de polarización, supuso que los hipotéticos corpúsculos de luz eran asimétricos.

El trabajo posterior de los franceses Fresnel, Fizeau y Foucault y del inglés Young en el siglo XIX, aniquiló lo que quedaba de la teoría corpuscular de la luz y estableció firmemente que la luz era una onda transversal (la dirección de la oscilación es perpendicular a la dirección de propagación). Sin embargo, para que la teoría ondulatoria de la luz fuera contundentemente probada, quedaba un problema por resolver: las oscilaciones requieren un medio material en el cual propagarse. Por ejemplo, el sonido se transporta en el aire, en el agua o en cualquier sólido y la velocidad de propagación es mayor en tanto sea más grande la densidad del medio. No obstante, la luz puede viajar en el vacío y esta dificultad generó un buen número de maromas intelectuales; entre las más famosas, la hipoté-

tica existencia de una substancia que debería permear y rellenar todo el universo y que fuese transparente, imponderable, inodora e indetectable (casi como el alma) y que, simultáneamente, tuviese una densidad enorme como para poder sostener la propagación tan rápida de la luz. A esta sustancia se le dio el muy apropiado nombre de *éter*³⁹.

Le correspondió al genio de James Clerk Maxwell demostrar que las ondas de luz son oscilaciones electromagnéticas, que son autosostenibles y viajan a velocidad constante en el vacío. Maxwell ejerció una notable influencia en la ciencia de su siglo y la trascendencia de su trabajo fue sintetizada por Einstein en un discurso pronunciado en el centenario del nacimiento de aquél: “La más profunda y fructífera que la física haya experimentado desde los días de Newton”. Esta labor, resumida en las famosas ecuaciones de Maxwell y después confirmada experimentalmente por Hertz, le dio la puntilla a la teoría corpuscular. Newton perdió; la luz es una onda⁴⁰.

Las buenas vibras

Toda onda u oscilación se caracteriza por tener una frecuencia, que es el número de vaivenes por unidad de tiempo y que se mide en ciclos por segundo, unidades llamadas *hertzios* en honor a Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), y una amplitud que es el tamaño de las crestas de las ondas. Otra magnitud importante es la llamada longitud de onda, que no es otra cosa que la distancia entre cresta y cresta o valle y valle de ondas consecutivas, una variable inversamente proporcional a la frecuencia: longitudes de onda pequeñas corresponden a frecuencias altas y viceversa.

Cada uno de los colores que componen el espectro corresponde a una frecuencia de oscilaciones electromagnéticas o a una longitud de onda. Así, por ejemplo, el color rojo tiene una longitud de onda de 650 nanómetros (mil millonésimos de metro) y la longitud de onda más corta

³⁹Del griego *αιθηρ* que significa “encender” o “brillar”

⁴⁰Esta afirmación no es del todo precisa: la teoría corpuscular volvió por sus fueros y esta vez fueron Max Planck y Albert Einstein quienes revolucionaron la física y nos legaron la interpretación de la luz que tenemos hoy en día: La luz es una onda, oscilaciones electromagnéticas que se comportan como partícula cuando interactúa con la materia. Es decir; la luz es a la vez onda y partícula.



Figura 3: El espectro visible

que podemos percibir con el sentido de la vista es el violeta profundo con una longitud de onda de 380 nanómetros. De todas las frecuencias posibles, sólo un intervalo es accesible a nuestra vista y se conoce como *el visible*. Frecuencias mayores y menores no son detectables a través de los ojos, pero su existencia quedó fuera de toda duda cuando, en 1800, Wilhelm Friedrich Herschel⁴¹, mediante un ingenioso experimento que consiste en medir con un termómetro sumamente sensible los cambios de temperatura que se producen al desplazar el termómetro a lo largo del espectro, encontró que había luz que no se podía mirar a la izquierda del rojo, en las frecuencias menores, pero que el termómetro detectaba. Esta radiación infrarroja escapa al sentido de la vista, pero se percibe en la piel como una sensación de calor.

Un año más tarde, en 1801, y seguramente inspirado por los experimentos de Herschel, Johann Wilhem Ritter descubrió que más allá del violeta del arcoiris existe una luz invisible que oscurece un papel impregnado de sales de plata aún más rápido que la porción violeta del arcoiris. Tanto el infrarrojo como el ultravioleta son formas de luz (invisible para nosotros), así como también lo son las oscilaciones que se extienden hacia las altas frecuencias (rayos X, rayos gama, etc.) o bien, que prolongan al infrarrojo hacia las bajas frecuencias (ondas de radio y microondas.)

Una gráfica de la frecuencia (o longitud de onda) en el eje de las abscisas contra la intensidad de cada una de las frecuencias en el eje vertical, se llama *espectro* o *densidad espectral*. Estas representaciones son harto útiles, pues de un vistazo nos permiten saber las características de la fuente luminosa. El espectro de una lámpara roja sería únicamente una línea vertical sobre el punto de la abscisa que le corresponde a la longitud de onda

⁴¹Que terminó sus días llamándose Sir William Herschel. Nació en Hannover, Alemania, pero vivió la mayor parte de su vida en Inglaterra donde desarrolló una carrera impresionante en física y astronomía.

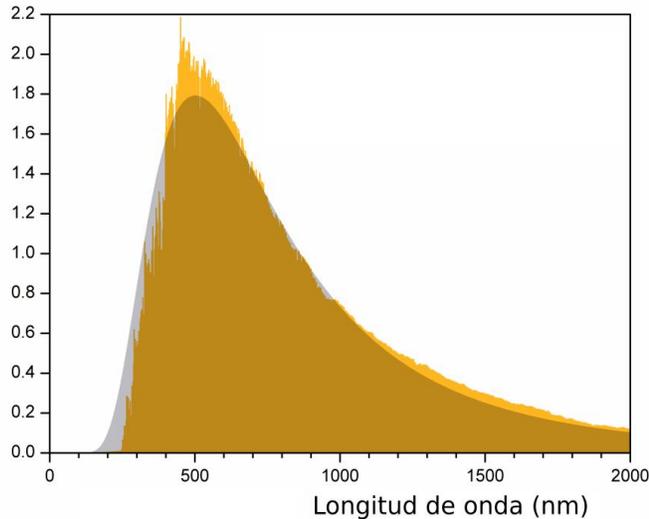


Figura 4: El espectro solar. En amarillo, la intensidad medida; en gris, la predicha por la teoría. Figura tomada de la Wikipedia

de 650 nanómetros. Evidentemente, la fuente de luz que más influencia tiene sobre nuestras vidas es el astro rey. En la figura 4 se muestra el espectro de la luz que recibimos de nuestra estrella; podemos apreciar que contiene prácticamente todas las longitudes de onda aunque en proporciones diversas, como ya lo decía la magnífica Juana de Asbaje cuando hablaba de Apolo-Tonatiuh:

“Rico el hermoso manto de sus luces,
 guarnecido de puntas que son rayos,
 sin que pueda pasar por demasía,
 tira lo que es rojo a ser dorado.
 Con realce de estrellas, suelto al aire,
 pudiera azul celeste ir publicando
 que de su banda tiene los colores.”

Tira lo que es rojo a ser dorado. Hermosa descripción del matiz del sol en su tránsito de la aurora al cénit. ¿Cómo puede algo que es rojo convertirse

en dorado? El espectro solar tiene su máximo cerca de la longitud de onda de 600 nm, lo que corresponde al color amarillo, pero al amanecer y en el ocaso, los rayos solares tienen que atravesar una capa más extensa de aire, pues entran de sesgo a la atmósfera y ésta absorbe la mayoría de las longitudes de onda, dejándonos el color rojo, para fortuna de poetas y deleite nuestro cuando se mira desde una playa. Lo que es rojo lo es porque absorbe todas las longitudes de onda y refleja solamente la que corresponde al color rojo. Un objeto que vemos rojo no es rojo intrínsecamente, únicamente se ve rojo. Si lo iluminamos con luz verde o azul, se ve negro. En un mundo que tuviese un sol cuya luz careciera de la componente verde, las plantas serían negras. Se ha argumentado mucho que la retina de los humanos tiene un máximo de sensibilidad en el color amarillo debido a un ajuste selectivo que ha conducido a que la evolución de nuestros ojos se adapte al máximo de la emisión solar. Es una explicación interesante, pero no explica por qué algunos animales desarrollaron una visión en blanco y negro y algunos otros tienen un máximo cerca del ultravioleta.



¿Qué onda con el ruido?

También los sonidos son ondas; es decir vibraciones, pero que en este caso se propagan longitudinalmente; las vibraciones corren a lo largo de la dirección de propagación, zonas de compresión y rarefacción que se

alejan de la fuente. El sonido requiere algún medio material como el aire o el agua para viajar. Una oscilación sonora, al igual que la luz, se puede caracterizar mediante una frecuencia o longitud de onda y una amplitud. La diferencia entre un sonido grave y uno agudo se debe a la frecuencia de las ondas sonoras, mientras que la intensidad o volumen del sonido se debe a la amplitud de la onda. Cada una de las notas musicales corresponde a una frecuencia bien determinada y esto nos permite hablar de un espectro acústico (Newton no estaba tan errado al hacer una analogía entre los siete colores del arcoiris y las siete notas musicales). Así, por ejemplo, 440 oscilaciones por segundo dan la nota *La*, detalle que es bien conocido por todos los amantes de la música afroantillana y, en particular, del merengue dominicano⁴². Vale la pena también mencionar que, el *La* de 440 Hz es la nota que se escucha como tono de invitación a marcar cuando uno descuelga el teléfono; es el estándar en los Estados Unidos de América y en todo el continente americano⁴³. El doble de la frecuencia, 880 Hz, también es *La* pero una octava más alta; en esa octava caben el resto de las notas (*La-Si-Do-Re-Mi-Fa-Sol*) con frecuencias arregladas en orden ascendente.

Al igual que con la luz, también el intervalo de frecuencias sonoras accesibles a nuestro oído es relativamente pequeño: no podemos escuchar sonidos con frecuencias menores a 20 Hz (oscilaciones por segundo) y tampoco aquellos con frecuencias por arriba de los 20 000 Hz. De hecho, solamente los oídos jóvenes pueden escuchar este intervalo; conforme envejecemos, nuestro tímpano se endurece y disminuye el rango de frecuencias que podemos percibir. Se nos enseña en la escuela que el ruido es una combinación desordenada e incoherente sin regularidades o periodicidades. En acústica, el ruido es cualquier sonido indeseable o que interfiere con otros sonidos que tienen algún interés o valor intrínseco. En electrónica, el ruido es la presencia de señales impredecibles y aleatorias que contaminan la señal principal. En el medio científico, este término se usa con connotación negativa, como algo que perturba y altera lo que, en su ausencia, sería ordenado o regular. Sin embargo, más adelante veremos que hay de ruidos a ruidos y que algunos de ellos son

⁴²Nota para los que no son amantes del merengue dominicano: el grupo más famoso de la década de los noventa se llamó "Juan Luis Guerra y su 440".

⁴³En Europa el tono es el de 425 Hz

muy útiles.

Si la luz se puede representar en una gráfica espectral, ¿por qué los sonidos no? Pues efectivamente, también las características de los sonidos se pueden apreciar en una densidad espectral y así como la luz blanca es la combinación de todos los colores del espectro, de todas las frecuencias, se dice que un ruido es *ruido blanco* si están presentes todas las frecuencias de los agentes individuales posibles y lo están con la misma amplitud. En música, el ruido blanco sería el que se alcanzaría si todos los instrumentos tocaran a la vez notas distintas sin ninguna coherencia o coordinación. Igualmente es ruido blanco la estática que se escuchaba en los radios antiguos. Este ruido no tiene ninguna periodicidad ni patrón reconocible, ninguna regularidad ni estructura. También se le llama “ruido de Johnson-Nyquist”.

La posibilidad de descomponer cualquier onda en la suma de oscilaciones periódicas, la debemos a Jean-Baptiste Joseph Fourier⁴⁴ (1768-1830), matemático, físico, historiador, ingeniero, egiptólogo, administrador, funcionario, profesor y activista político que estuvo cerca de perder la vida en varias ocasiones durante la revolución francesa. El método que él inventó se llama, con toda justicia, “la transformada de Fourier” y es una de las técnicas más bellas de la matemática. Así como el prisma de cristal es el dispositivo material que nos permite escindir la luz en sus componentes elementales, la transformada de Fourier es el prisma matemático con el que se puede descomponer cualquier sonido y que nos faculta, en lo que quizá sea la parte más interesante de este ensayo, representar en un espectro una serie de tiempo. Estas son secuencias de datos de cualquier variable de interés tomados a intervalos regulares de tiempo, ya sea el índice diario de precios y cotizaciones de la Bolsa de Valores, la intensidad de las manchas solares, la densidad de población de un cultivo de bacterias, el registro de temperaturas en la Ciudad de México y todo lo que a usted se le pueda ocurrir. Para encontrar el espectro de

⁴⁴Fourier forma parte de una pléyade de excelentes científicos franceses que surgieron de las primeras generaciones de las grandes escuelas francesas que fueron concebidas y fundadas por la revolución francesa. En particular, Fourier estudió en la *École Normale Supérieure* y posteriormente pasó a la *École Polytechnique*. Las revoluciones dejan cosas muy buenas; aún los reaccionarios franceses contemporáneos están orgullosos de sus escuelas “revolucionarias”.

una serie de tiempo, se toma su gráfica como si fuera una onda (más correctamente, una superposición de oscilaciones) y se somete al análisis de Fourier; esto es, se buscan sus componentes “puras”. ¡Podemos utilizar todos los resultados, la teoría, los métodos y técnicas de la óptica y de la acústica, y hasta sus lenguajes y metáforas, para el estudio de cualquier fenómeno que se pueda dibujar como una gráfica que depende del tiempo! Por ejemplo, si analizamos la gráfica del índice de valores y precios de la Bolsa, su espectro nos dirá cuáles son las frecuencias de las componentes que predominan y eso nos proporciona información que deja muy atrás a las técnicas estadísticas tradicionales de análisis de series de datos.

De colores se visten los campos...

La analogía newtoniana entre luz y sonido se extiende entonces a las series de tiempo: hay luz blanca, ruido blanco y series de tiempo blancas, ¡y también las habrá de todos los colores!

La analogía nos llevará a extremos interesantes e incluso divertidos: por ejemplo, si tenemos una fuente de sonido que emita ruido blanco (recordemos que es la mezcla de todas las frecuencias) pero en un medio de propagación que absorba las ondas con frecuencias altas, como es el caso del mar, entonces queda el llamado ruido rojo. Otro caso es el ruido que resulta de poner todas las frecuencias (color blanco) con el predominio de aquellas de baja frecuencia (color rojo) y, como sabemos, la mezcla de rojo y blanco da rosado. Este concepto se usa a veces en oceanografía y en la dinámica de poblaciones en ecología. ¿Por qué no, entonces, hablar de una jornada *roja* en la Casa de Bolsa? Se puede, y no quiere decir que hubo violencia, sino que en las fluctuaciones de un día del índice de precios y valores predominaron, en abundancia, las pequeñas sobre las grandes, y eso se miraría en una gráfica espectral como una curva que desciende de valores grandes en las frecuencias bajas a pequeñas en las frecuencias altas. ¿Y series de tiempo azules? ¿Y de qué color es el registro de temperaturas en la Ciudad de México? ¿Qué color tienen los datos de paperas en el país?

Si ya captamos la idea de interpretar en términos de colores los espectros de sonidos y de las series de datos, entonces podemos hacer una

catálogo cromático de fenómenos según su espectro.

Como ya quedamos, un espectro continuo que incluya todas las frecuencias da lugar a ruido blanco; si eliminamos las frecuencias que corresponden a las notas musicales, le estaríamos quitando lo poco de armónico que tiene. El resultado es algo que da una sensación de acidez y por lo tanto, evocando lo cítrico de la naranja, se le llama ruido anaranjado. Las sectas *new age* de ecomísticos y naturistas dicen que el ruido de fondo de la naturaleza es verde. No sé si se refieren al espectro de potencias del sonido o a las evocaciones sensuales que les produce el color verde a los militantes de estos grupos.

Existe también el ruido azul. Es el simétrico al ruido rojo que vimos arriba. Ruido que se propaga en un medio que absorbe las frecuencias bajas. Los científicos que se dedican a la computación visual lo usan para el diseño de un tipo de filtraje llamado *dithering*. La finalidad de esta técnica es minimizar los efectos de la percepción falsa del contorno de un objeto debidos a la discretización de las imágenes en los dispositivos discretos de la pantalla de las computadoras. Los especialistas en esas artes se han dado cuenta que el ojo humano usa mayormente las altas frecuencias de la luz para discernir los contornos de los objetos y las bajas para representar sus texturas. Cuando lo importante es el diseño de filtros para arreglar los bordes, se da preferencia a las frecuencias altas, es decir, al ruido azul. Cualquier onda tiene asociada una energía, en el caso de la luz, la energía es proporcional a la frecuencia. Si pensamos en un espectro que contenga todas las frecuencias (ruido blanco, una vez más), entonces las componentes de frecuencia mayor tendrán mayor energía que sus contrapartes de menor frecuencia. Si forzamos cada componente o color a tener la misma energía, entonces la curva de amplitud como función de la frecuencia deberá ser decreciente; a un ruido con estas características se le llama ruido gris.

Ahora pensemos en una serie de números completamente azarosa y a partir de ella construyamos una segunda, en la cual cada número sea el promedio del que ocupaba la misma posición en la serie original con sus vecinos cercanos; entonces tenemos una nueva serie que sigue siendo aleatoria, pero cuyos componentes tienen correlaciones con los anteriores. La transformada de Fourier nos permite calcular su espectro y se observa que éste disminuye como una hipérbola con exponente dos ($1/f^2$). A

este ruido se le llama ruido café, no porque tenga nada que ver con el color de la bebida, sino porque es equivalente al movimiento browniano, descubierto en 1828 por el botánico inglés Robert Brown.

Hay un par de definiciones para el ruido negro. La de Manfred Schroeder que, desde el punto de vista estrictamente técnico, es un poco árida: “Ruido negro es aquel cuyo espectro es una hipérbola con exponente tres ($1/f^3$)”⁴⁵. Un espectro que descienda con la rapidez de una hipérbola cúbica refleja un gran dominio de las frecuencias bajas sobre las altas; esto es, muchas fluctuaciones de tamaño grande y pocas pequeñas. Schroeder nos dice que este espectro es característico de los desastres tanto naturales como artificiales, tales como inundaciones y apagones. Por otra parte, también se le llama ruido negro a los sonidos que no podemos escuchar (los ruidos “ultravioleta”), como los de los silbatos para perros. Los ruidos blanco, café y negro tienen espectros que disminuyen como hipérbolas: $1/f^\alpha$ distinguiéndose por el valor del exponente α , que es para los tres casos, respectivamente, igual a cero, dos y tres. ¿Qué pasa con el exponente igual a la unidad? Sucede que es un caso notable y especial, al que dedicamos completa la siguiente sección.

La vida es color de rosa

Hemos dejado para el final el ruido rosa. El rosado, todo mundo lo sabe, es una mezcla de rojo y blanco; éste es el caso con el ruido rosa: contiene algo de blanco, en el sentido de que todas las frecuencias se hallan representadas, y tantito rojo puesto que las bajas frecuencias entran en mayor proporción que las altas. Su espectro es una hipérbola de la forma $1/f$ (en coordenadas logarítmicas se tiene una recta de pendiente negativa y cercana a la unidad). Este tipo de ruido parece ser omnipresente en la naturaleza: aparece lo mismo en las fluctuaciones de la radiación solar que en las de la Casa de Bolsa, el tráfico ciudadano, los disparos de las neuronas en el sistema nervioso central, la variación de la luminosidad de las estrellas y las correlaciones entre palabras de distinta longitud en el idioma inglés. Fue descubierto en 1925, cuando J. B. Johnson estudiaba las fluctuaciones en la corriente de la emisión termoiónica en un tubo al

⁴⁵Manfred Schroeder, 1991, *Fractals, Chaos, Power Laws*, W. H. Freeman & Co.

vacío, un bulbo⁴⁶.

W. Schotky intentó una explicación teórica, en 1926, para el caso particular de la emisión citada. A partir de ese momento, la lista de publicaciones acerca del también llamado “ruido de centelleo” (*flicker noise*) ha crecido de manera explosiva, pero aún hoy no existe una explicación teórica de la razón de su ubicuidad en la naturaleza.

Si no se ha podido elaborar una teoría general es porque el estilo dominante de hacer ciencia no funciona para este caso. El ruido rosa es una manifestación común en una gran cantidad de fenómenos tan disímiles como los que mencionamos arriba a guisa de ejemplo. Esto quiere decir que debe ser independiente de la composición material de éstos y que, más bien, deberá depender de procesos que se dan entre los componentes de los sistemas y no de su naturaleza.

Procesos, no cosas. Éste ha sido el pensamiento heraclítico en la ciencia⁴⁷, pero desgraciadamente no es el estilo más popular entre nuestros científicos, pues es más redituable en términos de *papers* adoptar una estrategia reduccionista para desmenuzar un problema en subproblemas más simples. Una de las razones de la impotencia del método reduccionista en el caso del ruido rosa es que los miembros de la familia de funciones $1/f^\alpha$ son invariantes ante cambios de escala (ver recuadro). Si un proceso se amplifica mediante un factor x , su espectro se amplifica por el recíproco $1/x$. Es decir, los subproblemas resultantes de partir el problema original... ¡tienen el mismo nivel de complejidad!

En 1987, el físico danés Per Bak y sus colaboradores propusieron el concepto de *criticalidad autoorganizada* como un intento de explicación al problema del ruido⁴⁸ $1/f$. La autoorganización es un fenómeno conocido desde hace muchos años y es la capacidad que tienen algunos sistemas lejos del equilibrio termodinámico de generar estructuras y patrones sin necesidad de la acción de agentes externos; es decir, son sistemas que

⁴⁶“The Schotky effect in low frequency circuits”, 1925, *Physical Review*, **26**, pp.71-85.

⁴⁷Heráclito se quejaba de que la gente no comprendía que las cosas están interrelacionadas y que no es posible comprender la naturaleza sin tomar en cuenta este principio, llamado en griego *logos* (razón). La forma explícita de la interrelación se daba en contrarios: no es posible definir el frío sin definir el calor, lo bueno sin lo malo, etc. Se le considera padre intelectual de la dialéctica y del pensamiento dinámico.

⁴⁸Bak, P., Tang, C. & Wiesenfeld, K., 1987, *Phys. Rev A* **13**, p. 364.

pueden crear y mantener formas de manera espontánea. Dos ejemplos: primero, el vapor de agua en la atmósfera no se distribuye homogéneamente, sino que se agrega como nubes que tienen formas conspicuas y clasificables. Si la atmósfera estuviera en equilibrio termodinámico (si se apagara el sol), el vapor tendería a una distribución uniforme. Segundo, en la fase temprana del desarrollo embrionario de los animales, en un momento dado se rompe la simetría esférica del agregado celular (la mórula) y las células se organizan espacialmente hasta alcanzar la forma final del individuo. Adicionalmente, las células se diferencian, esto es, dejan de ser todas iguales para especializarse según el tejido al que darán lugar.

Música fractal

Se dice que la familia de funciones $g(f) = f^a$ tiene la propiedad de autosemejanza pues si multiplicamos por un factor arbitrario, digamos b , el argumento f de la función, entonces se dan la siguientes relaciones:

$$g(bf) = (bf)^a = b^a f^a = g(b)g(f).$$

Multiplicar por b el eje de las abscisas equivale a estirarlo por ese factor. La línea de igualdades previas nos dice que si estiramos ahora el eje vertical por el factor $f(b)$, entonces la gráfica de la función $g(f)$ se ve exactamente igual a la de $g(bf)$. Esto, por simple que parezca, es extraordinario. Simplemente imagine usted que en el eje horizontal tenemos el tiempo y que el eje de las ordenadas representa una señal sonora, música por ejemplo, entonces si pasamos el disco al doble de la velocidad ($b = 1/2$) basta con subir el volumen al doble; ¡La música suena igual! Las piezas musicales que tienen esta virtud se llaman “canciones fractales”.

Se invita a los lectores aficionados a la música a proponer composiciones que ilustren el punto ¿se imaginan “el merengue de Mandelbrot” “corazón fractal partido”, etcétera?

Por otra parte, la criticalidad es una noción asociada a las transiciones de fase: el tránsito de vapor a líquido, de líquido a sólido, etcétera. Cuando se tiene una sustancia en equilibrio, lejos del punto de transición de

fase, una perturbación externa únicamente tiene efectos locales, mientras que en el punto justo de la transición de fase, se dice que el sistema se encuentra en un estado crítico, pues las mismas perturbaciones que tienen efectos se sienten en el sistema entero.

La propuesta de Bak y sus colaboradores es que los sistemas dinámicos formados por un número grande de componentes interactuando de manera no lineal (donde los efectos no son proporcionales a las causas), tienen la tendencia espontánea a organizarse a sí mismos en estados críticos de equilibrio dinámico en los cuales ocurren fluctuaciones de todos los tamaños, pero siguiendo leyes de distribución bien precisas. Estas distribuciones se conocen como “leyes de potencias” puesto que la relación funcional entre la magnitud de las fluctuaciones y su abundancia relativa es, ni más ni menos, del tipo $1/f^a$; es decir, una ley de decrecimiento hiperbólico como las que hemos visto.

Existe amplia evidencia de que muchos fenómenos naturales siguen leyes $1/f$. Además de los mencionados arriba, uno de los que mejor lo ilustra es la distribución de las magnitudes de los terremotos (la ley de Richter-Gutenberg). Hay muchos terremotos de magnitud pequeña, regular número de magnitud mediana y muy pocos de magnitud catastrófica; esto se refleja en un espectro decreciente y en ese sentido podría ser un espectro rojo, café o negro, pero se ha observado que la potencia de la hipérbola es exactamente uno. ¿Se imaginan ustedes la cantidad de fenómenos en que haya “muchos de los pequeños, regular de los medianos y pocos de los grandes?”. ¡Claro que podemos imaginarlos! Las extinciones a lo largo de la historia de la vida en la tierra, la acumulación del dinero en nuestro país (muchos pobres, regular de clasemedios y pocos, poquitos, ricos y muy ricos). Lo sorprendente no es que se dé esta ley de distribución; lo maravilloso es que se dé con una ley matemática muy precisa (la ley $1/f^a$) y con un exponente muy preciso ($a = 1$).

Quizá lo más relevante del mundo color de rosa es que se ha demostrado que el espectro $1/f$ es una indicación de que el fenómeno tiene un origen dinámico y, por lo tanto, se excluye la posibilidad de que haya sido causado por algún evento aleatorio.

Si los eventos tienen un origen dinámico común, independientemente de su magnitud, entonces no necesitamos hipótesis diferentes para explicar los de gran magnitud y los pequeños. En nuestra cultura occidental,

existe la tendencia a pensar que los sucesos pequeños provienen de causas pequeñas y que los grandes de causas grandes⁴⁹. Este pensamiento lineal hace que busquemos las respuestas en los sitios equivocados: por ejemplo, que las extinciones que involucran una o pocas especies se puedan deber a interacciones ecológicas “normales”, mientras que las grandes se deban a eventos catastróficos o sobrenaturales como meteoritos, grandes erupciones volcánicas o diluvios universales. Deberíamos evitar al máximo las explicaciones *ad hoc*. No estoy diciendo que una catástrofe específica, como la extinción del cretácico, no haya podido ser causada por un meteorito, lo que alego es que la actitud de buscar soluciones de esta naturaleza para cada una de las extinciones es errónea. La importancia de los aspectos contingentes de la historia ha sido exagerada, desde mi punto de vista, pues son narraciones descriptivas sin poder explicativo.

Colofón

No sabemos si la teoría de Bak es cien por ciento cierta, ni si en verdad el mundo es color de rosa, pero este enfoque, además de atractivo, es la única alternativa para encontrar soluciones a problemas que escapan a la visión reduccionista y las narraciones históricas. En este universo existen leyes y principios naturales; es ahí donde debemos buscar las respuestas a las interrogantes de Madre Natura.

⁴⁹Ver el primer capítulo de este libro

ESTE ensayo va dedicado a mis colegas Ana Irene Ramírez y Luis de la Peña. Apareció en la revista *Ciencias* en su número de abril-junio de 1999. Según el estudio de Laura González⁵⁰ este artículo ocupa el décimo lugar de las preferencias de los lectores de la revista en toda su historia.

La caricatura de Trino se publica con permiso de *La Jornada*

⁵⁰L.I. González Guerrero, 2008. "Percepción de la revista *Ciencias* en sus lectores". Tesis profesional, UNAM.



Paisajes

JUAN Ruiz de Alarcón, el gran dramaturgo del Siglo de Oro español, nació en la ciudad de Taxco, ahora y entonces uno de los centros mineros más ricos de México. De los socavones de esta ciudad, que se encuentra enclavada en la Sierra Madre del Sur, en el actual estado de Guerrero, se extrajo durante toda la época colonial mucha de la plata que llenó las arcas de la Corona española. Después de graduarse como abogado en la Universidad de México, emigró a España en 1628, donde fue nombrado miembro del Consejo de Indias, el organismo encargado del gobierno y administración de las colonias españolas de ultramar. En ese mismo año, una flota de barcos piratas holandeses comandada por Piet Heyn interceptó en las inmediaciones de la bahía del puerto de Matanzas, Cuba, a veintidós buques de una flota española proveniente del puerto de Veracruz que llevaba un cargamento de cuatro millones de ducados de plata, y que se disponía a buscar la tornavuelta para llegar a Cádiz después de abastecerse en La Habana.

Los ibéricos, bajo el mando de don Juan de Benavides, se rindieron sin disparar un tiro y entregaron íntegro a los de Heyn el tesoro que llevaban. Éste fue uno de los episodios más dolorosos en la historia tanto de la Corona española como del Consejo de Indias. Los consejeros fueron duramente reconvenidos por el quebranto y don Juan de Benavides fue capturado, llevado a España, juzgado por cobardía y decapitado en plaza pública en Sevilla. En contraste, Piet Heyn fue recompensado por el gobierno holandés al designarlo Teniente Almirante de los Países Bajos⁵¹, nombramiento que agregó a su puesto de Director General de la Compañía Holandesa de las Indias Orientales cuya sede, la ciudad de Delft, se benefició de la victoria de Heyn y experimentó un gran desarrollo económico por la derrama de dinero proveniente de la explotación holandesa de las riquezas de Oriente y, en gran medida, por la plata de Taxco.

En la plenitud de su esplendor económico, Delft vio nacer en 1632 —a

⁵¹De pirata pasó a ser héroe y en Holanda hay puentes y calles bautizados con su nombre y hay monumentos y estatuas en su honor. De pirata pasó a ser ejemplo para la juventud y hoy en día los niños holandeses aprenden la canción *la Flota de Plata*: "Piet Heyn, Piet Heyn/ Tu nombre por siempre brillará/ Con tus naves pequeñas y aliñadas/ Tú batiste a la Flota de Plata/ La poderosa Flota de Plata de España..."

Un dato curioso adicional es que Piet Hein, matemático y poeta danés del siglo xx, que destacó por su militancia en el movimiento de resistencia antinazi durante la segunda guerra mundial, era descendiente directo del pirata Piet Heyn.

unos metros de distancia y con unos días de diferencia— a dos personajes que la marcarían indeleblemente: el gran maestro pintor Jan Vermeer, cuya obra modificó para siempre nuestra visión del mundo, y Antonie van Leeuwenhoek.

La vida nos maravilla con sus relaciones y conexiones inesperadas. Es cierto que no tiene relaciones de causalidad directas, pero sin duda existen patrones recurrentes. Es probable que Ruiz de Alarcón y Leeuwenhoek nunca hayan sido conscientes de la existencia del otro. Pero lo que sí es cierto es que el flujo de dinero entre México y Holanda, a través de los involuntarios intermediarios españoles, permitió que en Holanda se diesen las condiciones materiales para el florecimiento de la ciencia y las artes. Júzguenlo ustedes con base en la cantidad de personalidades notables que vivieron durante el siglo XVII en los Países Bajos.

Se sabe que Leeuwenhoek se dedicó en su juventud al comercio y la manufactura de ropa, y eventualmente fue nombrado chambelán de los juzgados de la ciudad. Esto le dio la seguridad económica necesaria para dedicar todo su tiempo y atención a la talla y pulimento de lentes, actividad que a la postre fue la base de su fama, pues a él se atribuye la invención del microscopio. Con esta poderosa herramienta, que extiende el sentido de la vista de los seres humanos hacia el mundo de lo hasta ese entonces invisiblemente pequeño, Leeuwenhoek se dedicó a recopilar y observar muestras de los más variados orígenes: miró el agua de lluvia, la de los charcos y pozos, y contempló asimismo toda clase de muestras animales y vegetales, lo que lo llevó a descubrir la existencia de todo un universo de pequeños seres vivos que llamó “animálculos”.

Una vez desatada la curiosidad, no hay rienda que la sujete ni freno que la detenga. Leeuwenhoek padecía del mal común a Pandora y Eva: su afán lo condujo a estudiar al microscopio cientos de sustancias y, dramáticamente, a tratar de descubrir la composición del esperma tanto del hombre como de los animales domésticos. Su hallazgo fue sobrecogedor: el líquido seminal bullía por la abundantísima presencia de otros “pequeños animalitos”, según lo refiere Maria Pinto Correia⁵²: “...Todos tienen el mismo tamaño y la misma forma, mueven sus colas de modo que no

⁵²Correia, MP. 1989. *The Ovary of Eve: Egg and Sperm and Preformation*. University Of Chicago Press

queda duda de que están nadando y, en consecuencia, son verdaderos animales. Mientras uno de ellos se dirige a la derecha, otro lo hace a la izquierda; uno se dirige hacia arriba y uno más hacia abajo. Algunos empiezan a moverse en cierta dirección y después, con un golpe de cola, se regresan por donde venían”.

Al igual que los juegos de luces y la armonía en la composición plasmados por Vermeer nos enseñaron a mirar luces y sombras que siempre han existido pero que nadie había registrado, al iluminar el misterio de lo extraordinariamente pequeño el ingenio de Leeuwenhoek cambiaría para siempre nuestra visión del mundo y, a semejanza de Vermeer, el microscopista de Delft nos mostró cosas que todo el tiempo habían estado ahí pero que no éramos capaces de percibir.

El descubrimiento de los espermatozoides tuvo la consecuencia inmediata de fortalecer cierta teoría, imperante entre los naturalistas de la época, sobre la constitución de los embriones, la herencia biológica y el desarrollo animal. Paradójicamente, al tiempo de reafirmarla, también la cambiaría de raíz, porque la teoría de la Preformación —que así se llamaba— era una antes del microscopio y fue otra, notablemente distinta, después.

Cambio y permanencia

Los seres vivos cambian y se transforman a lo largo de la historia, pero las variaciones ocurren de manera significativamente distinta según la escala temporal. En la escala de tiempo geológico surgen y se extinguen las especies y es en el inventario de la totalidad de los seres vivos donde se ven las variaciones. Sin embargo, en la escala de la duración de la vida de un animal o una planta, son los individuos en sí mismos los que se transforman: su historia es una sucesión de cambios incesantes, de etapas que van desde la relativa sencillez de un huevo fertilizado hasta la imponente complejidad de un adulto maduro, listo para reproducirse. Este tránsito se llama *desarrollo*.

La vida, entonces, evoluciona y se desarrolla y, aunque permanece, está cambiando constantemente. En el desarrollo es patente la dialéctica de la naturaleza: un organismo cambia a lo largo de su proceso embrionógico pero el proceso en sí es el mismo. El cambio y la transformación

son y han sido constantes a lo largo del tiempo histórico y, no obstante, generación tras generación un huevo fecundado se divide, crece, se diferencia y da lugar a un nuevo adulto siguiendo exactamente las mismas pautas que la generación anterior y que todas las precedentes y, al fin y al cabo, de lo igual se engendra lo igual siguiendo exactamente las mismas pautas.

Muchos estudiosos han creído encontrar en esta constancia la prueba de que detrás del proceso existe un plan, como si estuviera gobernado por algún tipo de designio trascendente y obedeciera a un *telos* o causa final. Por ello, la biología del desarrollo es tierra fértil para las interpretaciones teleológicas. Sin embargo, es posible identificar el conjunto de procesos autoorganizadores como un plan, sin necesidad de recurrir a explicaciones finalistas o de aceptar la existencia de alguna voluntad específica, natural o no, que lo dirija.

La rama de las ciencias de la vida que estudia el desarrollo es rica en problemas no resueltos; para decirlo sin eufemismos, es un campo donde se ignora más de lo que se sabe. Esa riqueza incómoda se debe, al menos en parte, al casi absoluto dominio de la llamada teoría sintética de la evolución o neodarwinismo en biología. Según ella, la selección natural es el único motor de la evolución y cualquier cambio evolutivo debe manifestarse gracias y a través de los genes, ya sea de sus proporciones en una población o de sus cambios o mutaciones. El programa neodarwinista se convirtió durante el siglo xx en la doctrina oficial de la biología y toda teoría o fenómeno debe desde entonces ser explicada a la luz de sus premisas.

No obstante, sesenta años después, el neodarwinismo no sólo no ha resuelto los problemas de la biología evolutiva —vamos, ni siquiera ha podido dar una explicación convincente sobre el origen de las especies, título del libro de Darwin— sino que inhibió el avance de otras ramas al cancelar la búsqueda de soluciones en otros términos e imponer la explicación *a priori* de que todo, en biología, es subsidiario del cambio evolutivo por selección natural. Este marco conceptual se ha convertido en una verdadera camisa de fuerza para la biología del desarrollo.

Los ovarios de Eva o los testículos de Adán

Los términos “desarrollo”, “embriogénesis” y “ontogenia” se pueden tomar, en una primera aproximación, como sinónimos que designan al proceso en el cual los cambios en la vida de un organismo pueden identificarse por la emergencia de nuevas cualidades características, funcionales o estructurales, que permiten reconocer estadios bien diferenciados.

Aunque a veces es útil imaginar que el desarrollo se compone de subprocesos fundamentales —morfogénesis, diferenciación y crecimiento—, el término “subproceso” es notablemente incorrecto, pues el desarrollo es la totalidad de los cambios, y concebirlo en fracciones separadas es sólo un recurso artificial de simplificación para tratar de comprenderlo.

Las teorías embriogénicas han oscilado a lo largo de la historia esencialmente entre dos concepciones antagónicas. En ocasiones una ha prevalecido sobre la otra, ya sea porque cuenta con alguna evidencia experimental o, las más de las veces, porque los vaivenes filosóficos, políticos o religiosos de la sociedad la han favorecido al hallar en ella algún tipo de apoyo para sus propias tesis.

En *acerca de la generación de los animales*, Aristóteles discute el problema del desarrollo biológico. Describe también las diferencias entre lo femenino y lo masculino, los distintos estilos de la cópula animal, la naturaleza y origen del semen y la forma y tamaño de penes y testículos. Luego, al discurrir acerca de cómo puede ocurrir la embriogénesis, el Estagirita identifica el problema fundamental: de qué manera surgen las características complejas y bien diferenciadas de un organismo a partir de elementos simples e indiferenciados. Aristóteles es el primero en identificar dos concepciones antitéticas por las cuales, desde entonces, los estudiosos del proceso han ido tomando partido: 1) las estructuras que dan lugar a un organismo adulto se encuentran ya plenamente formadas en pequeña escala y el desarrollo consiste únicamente en el crecimiento de éstas, o bien, 2) las estructuras y formas aparecen durante el proceso y no existen antes del inicio del mismo. Hoy día, a la primera propuesta se le llama de la *preformación*; a la segunda, de la *epigénesis*.

El iberorromano Lucio Anneo Séneca —según Armando Aranda⁵³— enuncia en el siglo I la primera formulación clara e inequívoca del pen-

⁵³Aranda, A. 1997. *La Complejidad y la Forma*. Fondo de Cultura Económica.

samiento preformacionista: “En la simiente están encerradas todas las partes del cuerpo humano que serán formadas. El infante que está en el vientre materno tiene ya las raíces de la barba y el cabello que portará algún día. Del mismo modo, en esa pequeña masa están todos los lineamientos del cuerpo y todo aquello que la posteridad descubrirá en él”.

En la Edad Media no hubo avances notables respecto al estudio de la embriogénesis; las preocupaciones estaban, como en toda la filosofía medieval, más enfocadas hacia Dios que hacia el ser humano. Existen obras de Agustín de Hipona y de Tertuliano de Cartago acerca de cuándo el Espíritu Santo desciende sobre el embrión y le confiere el alma. Por supuesto, las conclusiones de los padres de la Iglesia no tienen manera de ser comprobadas y carecen de toda base fenomenológica o empírica. Sin embargo, se debe señalar un trabajo muy interesante, escrito en el siglo XII por Hildegarde von Bingen⁵⁴. Mientras que para Agustín el embrión recibe el alma entre el tercer y cuarto mes de gestación, para Hildegarde el soplo divino alcanza al feto instantes antes del alumbramiento.



Figura 5: El homúnculo de Hartsoeker

Como en tantos otros asuntos, con el humanismo renace el interés por esta cuestión, y ya en su ocaso, sin estar particularmente interesado en embriología, en 1624 el teólogo francés Nicolas de Malebranche publica *De la recherche de la verité ou l'on traité de la nature de l'esprit de l'homme et de l'usage qu'il doit en faire pour éviter l'erreur dans les sciences*, donde sostiene que: “En la yema de un huevo sin incubar descubrimos un pollo plenamente formado. En los huevos de las ranas, vemos ranas; en el germen de otros animales, también podríamos verlos si tuviésemos la experiencia y habilidad para descubrirlos.

Podemos suponer que los cuerpos de todos los hombres y animales que nacerán hasta el fin de los tiempos han sido producto de la creación original; en otras palabras, que las primeras hem-

⁵⁴Maddocks, F. 2001. Hildegard of Bingen: The Woman of Her Age. Doubleday

bras fueron creadas con todos los individuos subsecuentes de su propia especie en su interior”.

Según este argumento, los ovarios de Eva habrían contenido huevos con seres humanos perfectamente formados en miniatura, entre ellos pequeñas mujeres con huevos que contendrían mujeres aún más pequeñas y así, como matrioshkas, desde el principio de la humanidad y, hacia el futuro, por los siglos de los siglos. Esta es, en esencia, la teoría embriogénica de la preformación.

Leeuwenhoek había sido el primero en ver y dibujar los espermatozoides. Pero muy poco después, tres naturalistas —el francés François de Plantade y los holandeses Nicolaas Hartsoeker y Jan Swammerdam— que también habían observado el líquido seminal al microscopio, le habían hecho llegar sus representaciones gráficas de los animálculos.

Los dibujos contenían una revelación maravillosa que había escapado a la mirada del pulidor de lentes de Delft: en el interior de la cabeza de los espermatozoides podía verse, sin duda alguna, un pequeño ser humano en miniatura perfectamente bien formado. De este modo, al cabo de casi veinte siglos, la teoría de la preformación había sido contundentemente confirmada por la observación directa.

Hartsoeker es un ejemplo típico de mala fortuna: el dibujo que envió a Leeuwenhoek causó excitación y revuelo intelectual en su época, pero hoy se emplea para ridiculizarlo y para desprestigiar tanto a la teoría de la preformación como a toda una generación de excelentes naturalistas. Para su desdicha personal, Hartsoeker tuvo el atrevimiento, y en él llevó su castigo, de contradecir públicamente a un intocable: Sir Isaac Newton. Por esa razón sus aportaciones al campo de la física, notablemente en la óptica, son desconocidas. Por su parte, Jan Swammerdam pasó a la historia por su *Historia general de los insectos* en donde muestra que al abrir un capullo, la larva en su interior ya contiene todos los órganos que caracterizan a una mariposa adulta.

Al final de su vida, Swammerdam fue abrazando ideas religiosas cada vez más radicales y terminó por intentar conciliar algunos problemas propios de los dogmas cristianos con la teoría de la preformación: “En la Naturaleza no existe la generación sino únicamente la propagación, el crecimiento de las partes. Entonces es que se entiende el pecado original, pues desde el principio todos los hombres estuvieron contenidos en los

órganos de Adán y Eva. Cuando su reserva de huevos se haya agotado, la humanidad dejará de existir”.

Tanto Hartsoeker y Swammerdam como de Plantade son hombres de su tiempo y sus opiniones reflejan el sentimiento e ideas de la sociedad en la que vivieron. Por ello, no debemos caer en la tentación de ridiculizarlos. Charles Darwin, uno de los más finos naturalistas del siglo XIX, fue también un preformacionista. Que este dato nos sirva para frenar cualquier intento de burla. Darwin, por supuesto, ya no defendía la existencia de “homúnculos” (del latín *homunculus*, hombrecito. Los holandeses usan el equivalente en neerlandés *maneken*) dentro de los espermatozoides. Su teoría proponía la existencia de partículas (gémulas) portadoras de “partecitas” de cada órgano que, de alguna manera, pasarían a los gametos y se desarrollarían en el embrión. En los cursos de biología se suele dejar de lado esta faceta de Darwin; no únicamente porque nunca tuvo algún sustento experimental (no podía tenerlo), sino porque constituía una vuelta a las ideas lamarckianas de la herencia de caracteres adquiridos, pero ésa es otra historia.

¿En qué sentido el descubrimiento de los espermatozoides reafirma la teoría de la preformación al mismo tiempo que la cambia radicalmente? Los preformacionistas anteriores a Leeuwenhoek pensaban que las personitas se encontraban en el huevo y, por lo tanto, que la humanidad entera estuvo alguna vez en los ovarios de Eva. Esta era una teoría que le concedía a la mujer un papel esencial; las hembras eran portadoras en potencia de todas las generaciones futuras: matar a una mujer era cometer crimen múltiple, casi infinito. El semen, en contraparte, desempeñaba sólo un papel de agente estimulante o abono fertilizador del huevo. Con el “descubrimiento” de los microscopistas mencionados, de que todos los seres humanos se han alojado, desde siempre, en los espermatozoides, la teoría dio un giro radical y se reforzó la concepción, ya popular entre los griegos, de que las mujeres son únicamente recipientes pasivos del embrión, depositarias nutricias del feto, y de que los portadores de la humanidad entera son los hombres. Los naturalistas dejan de ser “evistas” y se convierten en “adanistas”: la humanidad entera nunca estuvo en los ovarios de Eva sino en los testículos de Adán.

Ahora, en los albores del siglo XXI, sabemos con certeza que los espermatozoides no contienen en su interior a una personita, a un homúnculo,

sin embargo, debemos preguntarnos ¿Cómo es posible que personas serias, eruditas y excelentes naturalistas lo hubieran visto? Éste es un ejemplo (el de los canales de Marte sería otro) que nos debe prevenir contra el uso indiscriminado de la información sensorial como evidencia científica dura. Tanto los astrónomos observacionales como los microscopistas viven en una sociedad que posee un cuerpo de ideas dominantes que constituyen el “saber colectivo” y que normalmente no se cuestiona. Los preformacionistas encontraron homúnculos porque estaban buscando homúnculos, porque sus instrumentos de trabajo eran imperfectos y porque tenían una pasión desbordante por llegar a grandes descubrimientos científicos.

El fenómeno de encontrar lo que se busca, aunque no exista, está lejos de haber desaparecido. De alguna manera nos negamos a aprender de la historia, con lo que nos condenamos a repetir, una vez tras otra, los mismos errores. Hoy día, una multitud de biólogos evolucionistas buscan y encuentran explicaciones adaptativas francamente fantasiosas y que no resisten ningún análisis serio⁵⁵. Y todo ello debido a la pasión de intentar dar con explicaciones racionales mediante el uso indiscriminado de un instrumento de trabajo aún imperfecto: la teoría de evolución por selección natural.

Pero en el mundo hay matices: no todo es blanco o negro. Hubo también personalidades que proponían una versión más “suave” de la preformación. Entre los preformacionistas “ovistas”, Marcello Malpighi, biólogo y físico italiano del siglo xvii, quien estudió la embriogénesis de los pollos, concluyó que en el huevo no estaban completas todas las estructuras del organismo maduro sino que algunas de ellas surgían en el camino a medida que el embrión se desarrollaba.

⁵⁵En pleno 2010: N. Jablonski. “Why humans have no fur”. *Scientific American*. Febrero del 2010. En el artículo se dice que los humanos perdimos el pelaje por la necesidad de perder el calor generado por las caminatas y las carreras. Uno se pregunta —“y los guepardos, ¿por qué no perdieron su pelaje si también necesitan disipar calor?”. La autora responde: —“porque necesitan los patrones del pelaje para mimetizarse con la hierba”. Uno se cuestiona: —“pero, la hierba y el pelaje de los guepardos no se parecen”. Y así sigue el relato *ad infinitum*

La antítesis

El perfeccionamiento de los microscopios y de las técnicas de laboratorio condujeron a la refutación plena y total de la teoría de la preformación en su variante más primitiva. El preformacionismo no podía explicar las malformaciones, los partos múltiples, los hermanos siameses o las cruces híbridas entre diferentes especies. Todavía hubo intentos de rescatarlo, notablemente por parte del abogado y naturalista suizo Charles Bonnet en el siglo XVIII. Él argumentaba, entre otras cosas, que las malformaciones se debían a perturbaciones físicas, como presión o movimientos violentos sobre el delicado material que constituye el huevo. Sin embargo, la batalla estaba perdida; cuenta Lewis Wolpert⁵⁶ que alguien hizo ver a Bonnet que de ser cierto el preformacionismo, el conejo primigenio debió haber tenido, al menos, 10^{10000} “conejículos” en su interior. No había modo de responder a esto.

El medio científico empezó a volver su mirada a la otra posibilidad bosquejada por Aristóteles: la teoría epigenética del desarrollo. Quizá el embriólogo más influyente en esta dirección fue el alemán Kaspar Friedrich Wolff. Hasta entonces, los preformacionistas habían basado sus hipótesis en la observación de huevos de ave o de reptiles, pues aunque en 1672 Reinier de Graaf, otro holandés más, descubrió los folículos de los ovarios (llamados folículos de de Graaf) y erróneamente pensó que éstos eran los óvulos (son en realidad los saquitos donde éstos se encuentran), el verdadero descubrimiento de los óvulos de mamífero se consiguió hasta el siglo XIX, en 1830 para ser exactos, y correspondió tanto al mencionado Wolff como al estonioprusiano Karl Ernst Ritter von Baer el mérito de verlos por vez primera.

Se debe considerar a Wolff como el primer epigenetista moderno, quien dio el golpe de gracia al preformacionismo primitivo. Sus argumentos, tanto teóricos como experimentales, eran muy poderosos: “aceptemos que no podemos ver las estructuras preformadas en el huevo debido a la imperfección de nuestros instrumentos de observación. Sin embargo, deberá llegar el momento en que por su crecimiento natural sean visibles y entonces deberíamos poder verlas completas con todos sus órganos presentes”. Pero una cosa es demoler una teoría científica y otra, muy

⁵⁶Wolpert, L. 1994. *The Triumph of the Embryo*. Oxford University Press.

distinta, construir una nueva. Los argumentos que sirven para refutar la preformación son inútiles para construir el epigenetismo. Después de todo la teoría de la preformación es muy intuitiva y natural y no carece de lógica, pues si no hay estructuras preformadas, si el huevo es uniforme y homogéneo, ¿de dónde entonces salen los órganos y sus formas y funciones características?, ¿de dónde surge la complejidad creciente que va caracterizando a un individuo conforme se desarrolla?

Los primeros epigenetistas tuvieron que postular la existencia de un plan o diseño que guiara el proceso de desarrollo. A esa guía hipotética Wolff le llama *vis essentialis* y el conde de Buffon habla de una *force pénétrante* pero, independientemente del nombre, el marco teórico acusa un regreso a la entelequia aristotélica. A esta fase del epigenetismo se le llama *vitalista*. Aunque en nuestros días casi ningún científico fuera de los países anglosajones acepta una explicación de este género (un ejemplo de lo contrario se puede encontrar en el libro del creacionista moderno Michael Behe⁵⁷), no podemos culpar a Wolff o a Buffon, pues la aparición espontánea de estructuras complejas en donde antes sólo existía una gelatina uniforme desafía la intuición y exige una comprensión de procesos inaccesible para aquellos naturalistas.

El imperio de los genes

En un hecho inusitado en la historia de la ciencia que en el mismo número de una revista hayan aparecido tres artículos independientes los unos de los otros que daban a conocer al mundo el mismo descubrimiento. Efectivamente, en 1900, Hugo de Vries, Carl Correns y Erich von Tschermak publicaron por separado en *Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft* (Reportes de la Sociedad Botánica Alemana) el redescubrimiento de las leyes de Mendel. El alba del siglo xx anunciaba así el nacimiento de la genética.

Previamente, al final del siglo anterior, August Weismann había propuesto la separación entre los elementos (el germoplasma) que portarían la información hereditaria de una generación a otra y el cuerpo físico en sí de los organismos (el soma). Por carecer de la información molecular

⁵⁷Behe, M. 1999. *Intelligent Design: The Bridge Between Science and Theology*. InterVarsity Press.

precisa con la que contamos ahora, Weisman recurrió a menudo a justificaciones místicas. Sin embargo, la idea de la separación entre elementos portadores de la información y el organismo producto de esta información se acepta ampliamente en la actualidad. En lugar de germoplasma ahora se habla de DNA, genotipo o genes.

El término *gen* vino algunos años después, en 1909, y fue propuesto por Wilhelm Johansen. La noción contemporánea de gen es muy diferente a lo que Johansen tenía en mente. De hecho, según Evelyn Fox Keller⁵⁸, él mismo reconoció que no se le ocurría demasiado: “Un gen no es sino una palabrita muy útil, que se combina fácilmente con otras de modo que nos resulta útil para expresar lo que son los elementos o factores unitarios en los gametos”.

Los genes eran en ese momento una idea, un concepto sin sustento físico. En 1953 el mundo conoció los frutos de la investigación espectacular de Rosalind Franklin, Francis Crick y James Watson (los dos últimos recibirían después el premio Nobel por el descubrimiento; Rosalind murió prematuramente). Ellos dieron a conocer la estructura del DNA y, consecuentemente, le dieron una base material al concepto de gen y, de esta manera, voluntaria o involuntariamente, sacaron de su tumba a la teoría de la preformación. Desde luego, ya no estamos hablando de la existencia de homúnculos en los ovarios o testes; el preformacionismo moderno o *neopreformacionismo* es ahora mucho más sofisticado. Los homúnculos se sustituyen por “instrucciones de los genes”. Dicho de otra manera, el DNA del huevo y de los espermatozoides ya contiene la forma adulta del organismo, tal como lo decía Séneca, pero dicha estructura no existe físicamente en la forma de un homúnculo sino como información cifrada en los genes. El neopreformacionismo es el neodarwinismo de la biología del desarrollo en el sentido de que todo lo que somos y hacemos, nosotros, las plantas y los animales, está escrito en los genes.

Como he insistido, las teorías científicas no son ajenas a su entorno social y ésta no es la excepción. El preformacionismo moderno en su variante más radical es una expresión de determinismo genético que es a su vez el reflejo en la biología de lo que en economía política son las teorías más radicales del neoliberalismo actual. Aunque esto podría ser

⁵⁸E. Fox-Keller. 2002. *The Century of the Gene*. Harvard University Press

el punto de partida para una discusión apasionante, mejor volvemos al mundo de la biología.

El neopreformacionismo es una corriente de pensamiento muy popular en la actualidad. Posiblemente es, incluso, mayoritaria. Sin embargo, sus premisas son débiles. Se habla de “información genética”, de “instrucciones de los genes” y del “código genético”, como si los genes poseyeran una capacidad volitiva de dirigir el plan maestro (*blueprint*) de los organismos. En la realidad, el gen (el DNA) está compuesto por las moléculas más inertes del organismo desde el punto de vista químico y son completamente incapaces de hacer algo por sí mismas, aún menos de dar instrucciones para la realización de algo. Una de las metáforas más extendidas y falsas a la vez, es la de la capacidad de reproducción o duplicación del DNA. Si se deja en un tubo de ensayo alguna cantidad dada de DNA se pueden esperar siglos y ésta nunca se replicará. Para que el DNA, o los genes en su caso, se replique, hace falta una maquinaria enzimática sumamente compleja. Decir que el DNA tiene la capacidad de autorreplicarse es como decir que el papel bond tiene la misma habilidad, pues si lo mete uno en una máquina Xerox, efectivamente, sale una copia. La moraleja de este ejemplo, sugerido por Richard Lewontin, es que los genes (el papel bond) son incapaces de hacer cualquier cosa fuera del entorno de un organismo sumamente complejo (la máquina Xerox). Y si no pueden siquiera autorreproducirse, ¿cómo podrán realmente dirigir el proceso de reproducción y embriogénesis de todo un organismo?

En la década de los cuarentas del siglo xx, George Beadle y Edward Tatum enunciaron el principio de “un gen, una enzima”. La extrapolación mental es inmediata: “un gen, una enzima, un rasgo fenotípico”. Aunque se ha demostrado que este camino de causalidad lineal es falso, la gente sigue pensando y razonando de esa manera. Se oye a menudo mencionar el gen del alcoholismo, el de la homosexualidad, el de la obesidad, y los más temerarios hablan incluso de los genes de la inteligencia.

El papel de los genes en el desarrollo es, sin duda, importante. Sin embargo, su relevancia se pierde conforme se avanza en la escala jerárquica que lleva de moléculas a organismos. No es verdad que un gen “produzca” una enzima, puesto que las proteínas pueden conformarse por subunidades provenientes de genes muy diversos y adquirir su forma funcional únicamente con la ayuda de otras proteínas. Es decir, en

lugar de “un gen, una enzima”, tenemos “redes de genes, redes de enzimas” con propiedades dinámicas que estamos aún muy lejos de entender. Los genes no tienen un único y determinado papel funcional: si a todo esto agregamos que una enzima, definitivamente, no determina un rasgo fenotípico, entonces nos encontramos con que la relación entre genes y fenotipo es una madeja inextricable de redes dinámicas de interacción. La realidad es más compleja que la simplificación neopreformacionista. Tanto neopreformacionismo como neodarwinismo confunden la evolución y el desarrollo con el cambio en la abundancia de los genes a lo largo de las generaciones. Si no salimos del pensamiento de la reducción génica, no podremos nunca entender la razón por la cual las células diferenciadas son tan distintas aun cuando tienen el mismo conjunto de genes, o por qué bajo el mismo genoma podemos tener morfologías tan distintas como la de la larva, la oruga y la mariposa.

La morfogénesis

Aunque se está muy lejos de comprender cabalmente el proceso global del desarrollo biológico, hay avances notables que implican una interacción simbiótica muy interesante de biólogos, físicos y matemáticos. En un proceso de embriogénesis típico, después de una hora de haber sido fecundado, el huevo se habrá dividido en dos, en cuatro, en ocho, etcétera, hasta llegar a formar una esfera hueca, cuyo cascarón tiene el grosor de una célula y contiene aproximadamente un millar de éstas. En un instante dado, esa esfera, la blástula, comienza a perder su forma y, por un proceso llamado gastrulación, parte de la esfera se interna en sí misma (se invagina) y, mientras prosiguen las divisiones celulares, el plegado de paredes celulares continúa de manera que, en muy poco tiempo, ya se puede reconocer un embrión. También en un estadio temprano, las células dejan de ser todas semejantes y comienzan a especializarse para dar lugar a futuros tejidos específicos del organismo. Ésa es la diferenciación celular.

Aquí podemos identificar algunos momentos cruciales: primero, la pérdida de la simetría esférica y, segundo, la pérdida de la homogeneidad de las células. ¿Qué ocasiona estas rupturas de simetría? Se ha postulado la posible existencia de algunas sustancias llamadas morfógenos, cuyas

concentraciones no homogéneas provocarían los cambios geométricos y funcionales del embrión. Pero postular la existencia de un campo morfogenético únicamente lleva el problema del desarrollo de un ámbito a otro, sin resolverlo, pues ahora se plantea: ¿cómo es posible que exista una sustancia que sin intervención externa tenga una concentración heterogénea?



Figura 6: A la izquierda se tiene un plato de Petri con el resultado de la reacción B-Z. A la derecha, la misma figura pero producida por el crecimiento de una colonia de amibas *Dictyostellium*. A esta propiedad notable de generar las mismas manifestaciones estructurales a partir de diferentes sustratos microscópicos se le llama *universalidad dinámica*. Una explicación más detallada se encuentra en: G. Cocho y P. Miramontes, (2000). "Patrones y procesos en la naturaleza. La importancia de los protectorados". *Ciencias*, 59.

En 1958, un biofísico soviético, Boris Pávlovich Belousov, trataba de reproducir *in vitro* el ciclo de Krebs. Como no tenía recursos monetarios para efectuar las reacciones que se llevan a cabo en dicho ciclo, Belousov tuvo la idea genial de llevar a cabo las mismas reacciones pero sustituyendo los reactivos orgánicos con homólogos baratos que tuvieran propiedades fisicoquímicas semejantes. Para su asombro —y para el de todos los que han mirado esta reacción— las sustancias que en un inicio se encuentran perfectamente bien mezcladas en una solución acuosa, exhiben oscilaciones temporales periódicas y también muestran estructuras en forma de espiral después de un breve lapso transitorio. Belousov no pudo publicar el reporte de su trabajo pues nadie le creyó. La duda de los editores de las revistas era la misma que mencionamos arriba: ¿cómo es posible obtener patrones espaciales heterogéneos a partir de una solución

acuosa homogénea? El trabajo de Belousov cayó momentáneamente en el olvido, pero más tarde, en la década de los setenta, fue retomado por Anatoly Zhabotinsky y ahora se le conoce con el nombre de reacción de Belousov-Zhabotinsky (B-Z) y es el ejemplo paradigmático de la posibilidad de emergencia de estructuras a partir de medios homogéneos⁵⁹.

Se supo entonces que, de la nada, pueden emerger estructuras espaciales discernibles y bien diferenciadas. ¿De la nada? Bueno, no exactamente. En la misma década, Ilya Prigogine recibió el premio Nobel de química por mostrar que los sistemas complejos pueden transitar de estados desordenados a estados ordenados sin violar la segunda ley de la termodinámica, y la condición para hacerlo es que los sistemas puedan intercambiar masa, energía e información con su entorno. Esto dio fundamento, de una buena vez, a la posibilidad teórica de la epigénesis. Es decir, este hecho mostró que es perfectamente posible que una estructura uniforme y homogénea dé lugar a patrones espaciales bien diferenciados.

Ya en 1933 el embriólogo inglés Conrad Hal Waddington había demostrado que ciertos mensajeros químicos eran responsables de la diferenciación de tejidos en embriones de aves y mamíferos. Si existe un conjunto de sustancias químicas (los morfógenos) cuya distribución espacial heterogénea “dispara” las señales necesarias para que las células se diferencien, y si en los organismos todas las sustancias son producto de los genes, entonces, ¿son los genes los responsables del proceso de desarrollo embrionario?

Dicho de otra manera: ¿está en los genes el plan rector de diseño postulado por los epigenetistas vitalistas? La respuesta es negativa; de otra manera, lo único que habría sucedido en tres siglos de estudios embriológicos sería el cambio de un vitalismo místico por un vitalismo materialista.

En el trabajo científico siempre se ha tenido en gran estima la capacidad de síntesis; desde que Descartes une la geometría y el álgebra para dar lugar a la geometría analítica y que Newton demuestra que la misma fuerza que hace caer una manzana del árbol es la que hace que la Luna gire en torno a la Tierra, hasta el esfuerzo por conciliar la genética men-

⁵⁹Sánchez-Garduño, F. y Miramontes, P. 2009. “Las formas en la Naturaleza: una cosa es describirlas y otra es explicarlas. *Miscelánea Matemática*. 49. 101-124

deliana y la selección natural darwiniana en la teoría neodarwinista, hay grandes hitos en la historia de la ciencia que son esfuerzos sintetizadores. En embriología, la síntesis consistió en presentar una visión unificadora de la acción de los genes, la termodinámica de sistemas fuera del equilibrio y la teoría de los sistemas dinámicos no lineales. El mérito inicial —el correspondiente a los fundadores— es a juicio mío tanto de Waddington como del matemático francés René Thom (ganador de la medalla Fields, el equivalente al Nobel en matemáticas). Su propuesta es una de las construcciones teóricas más lindas en la historia de la biología. Voy a intentar describirla y pido a los lectores un esfuerzo de imaginación y abstracción.

Thom y Waddington conciben al proceso embriológico como un sistema dinámico en el más puro sentido de las matemáticas. En él, un punto en un espacio abstracto de configuraciones representa el estado del embrión. El movimiento de ese punto corresponde al desarrollo embrionario y la trayectoria que sigue es la historia del desarrollo.

El punto no se puede mover en cualquier dirección arbitraria; su libertad de movimiento está restringida por un paisaje epigenético; imaginemos que el punto es una pelota que únicamente puede rodar siguiendo los accidentes y contornos del paisaje físico (como en la Figura 7).

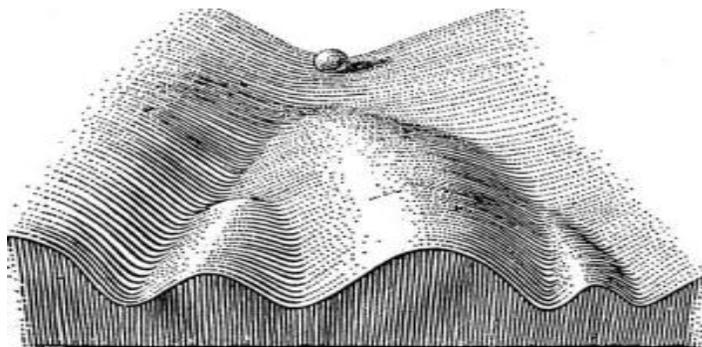


Figura 7: Paisaje epigenético

Una vez que una trayectoria entra en una sima del paisaje epigenético, ya no lo puede abandonar y se dice que ha caído en una *cuenca de atracción*. Las variables de estado que describen la posición del punto están determinadas por los genes del individuo, mientras que el paisaje por el que debe de rodar son las restricciones tanto ambientales como fisi-

coquímicas del proceso ontogenético. Los genes son importantes, son los parámetros que definen el sistema, pero aún con la restricción de la carga génica, hay suficiente campo de maniobra para que la cuenca de atracción y, por lo tanto los atractores, sean definidos por la física, la química y el ambiente.

Colofón

La comunidad científica, y la sociedad en general, están en deuda con Conrad Hal Waddington. No solamente desarrolló los conceptos arriba enunciados acerca del desarrollo epigenético. También fue un prolífico autor de divulgación científica y un incansable impulsor de lo que hoy se conoce como *biología teórica*. Para este propósito organizó una serie de cuatro encuentros en la Villa Serbelloni en el lago de Como en Italia. Entre los asistentes se puede contar a Lewis Wolpert, John Maynard-Smith, Stuart Kauffman, René Thom, Francisco Ayala, Theodor Dobzhansky, Peter Medawar, Jacques Monod, Karl Popper, Richard Lewontin, Francis Crick, Ernst Mayr, Christopher Zeeman, Graham Cairns-Smith, Brian Goodwin y muchos otros que sería muy largo enlistar. Como se puede dar uno cuenta de inmediato, de los asistentes el más molacho masca rieles. De esas discusiones salieron teorías novedosas, líneas de trabajo y colaboraciones que todavía son relevantes en la biología contemporánea. Las reuniones se suspendieron luego de la muerte de Waddington en 1975. Sin embargo, Germinal Cocho y José Luis Rius, del Instituto de Física de la UNAM, retomaron la organización de las ya llamadas *conferencias Waddington* y la primera se llevó a cabo en Oaxtepec, Morelos, en 1987. Asistieron muchos de los habituales a los coloquios originales, muchos desgraciadamente ya habían fallecido, y se agregó gente nueva como Faustino Sánchez, Peter Saunders, Toño Lazcano, Mae-Wan Ho, Julio Collado, Leonel Torres, Paul Davies, Nina Pastor, Santiago López de Medrano, Lynn Trainor y muchos otros —entre ellos el que escribe—.

Se define el *número de Erdős* como la distancia entre alguna persona y el matemático húngaro Paul Erdős medida mediante la coautoría de publicaciones científicas. Una persona que publicó junto con Erdős es Erdős-1, alguien que publicó con un Erdős-1 es Erdős-2 y así sucesivamente (yo soy Erdős-4). Jugando con esta idea, dado que Waddington

conoció a Thom y yo conocí a Thom, diremos que yo soy Waddington-2. Sin embargo hay otra conexión que me gusta más: Waddington se casó en segundas nupcias con Justin B. White, hija de Amber Reeves, escritora y feminista, quien en algún momento fue amante de H.G. Wells. El genial novelista, historiador y comentarista social no sabía bien guardar sus cabras y, a su vez, fue amante de Margaret Sanger la activista social por los derechos reproductivos de la mujeres que contribuyó a cambiar la mentalidad en los Estados Unidos acerca del derecho de la mujer a decidir cuántos hijos tener y cuándo tenerlos.

En esta empresa, dedicó buena parte de su tiempo a impulsar metodos de control de la concepción. En eso, conoció al biólogo Gregory Pincus quien era un notable especialista en la química de las hormonas en los seres humanos y se propusieron encontrar algún método de contracepción oral. Pincus revisó la literatura existente acerca de la síntesis artificial de esteroides y decidió que para su trabajo le resultaba más conveniente la noretindrona que venía de sintetizar en 1951 un joven químico mexicano llamado Luis Miramontes, que es mi padre... ¡Qué chiquito es el mundo!.

EN el momento de preparar este capítulo me di cuenta, para mi vergüenza, que el artículo en el que está basado y que fue publicado por la revista *Ciencias* en marzo del 2002 bajo el título de “Paisajes embriológicos y genes” está incompleto. Los editores de la revista, siempre respetuosos el trabajo de los autores, lo publicaron tal y como se los envié. El trabajo no se ve mal pero sí se siente que deja algo inconcluso y es que, por un error mío, le falta un buen trozo del final.

Para este volumen agregué el colofón y corregí algunos pequeños errores de tipografía. No obstante los fallos que les he comentado, este artículo es uno de mis favoritos.



Demonios

*Si pretendes desdeñar la razón y la ciencia,
los mayores logros humanos,
y te abandonas al espíritu de la mentira
mediante el embuste y la hechicería;
entonces, ya te tengo.*
(Mefistófeles dirigiéndose a Fausto)

Johann W. von Goethe, *Fausto*

BORGES en *Pierre Menard, autor de El Quijote* escribe: “la verdad, cuya madre es la historia, émula del tiempo, depósito de las acciones, testigo de lo pasado, ejemplo y aviso de lo presente, advertencia de lo por venir”. La historia es mucho más que la narrativa secuencial de eventos y personajes que nos enseñan en la escuela. Al ser la madre de la “verdad”, se vuelve indispensable para obtener conocimiento, y si aceptamos que uno de los papeles de la ciencia es precisamente ese aprendizaje, entonces la tarea científica pasa obligatoriamente por el estudio y la comprensión de los hechos históricos.

La idea de concebir a la historia como una serie de procesos sujetos a causas y efectos es parte del legado que nos ha dejado la monumental obra de Karl Marx y Friedrich Engels. Una de las frases más ilustrativas al respecto, fue escrita por Marx en 1852, en *El Dieciocho Brumario de Luis Bonaparte*, y ha sido citada en múltiples ocasiones por la literatura política: “Hegel dice en alguna parte que todos los grandes hechos y personajes de la historia universal aparecen dos veces. Pero olvidó añadir: la primera vez como tragedia, la otra como farsa”.

Marx establece un paralelismo entre el golpe de estado que le permitió a Louis Napoleon Bonaparte convertirse en emperador de Francia bajo el nombre de Napoleón III, y una asonada semejante que le permitió a su tío —Napoleón Bonaparte— alcanzar el trono de la misma nación unas décadas antes, en las postrimerías de la Revolución Francesa. Marx atribuye a Hegel la afirmación de que la historia tiene un carácter cíclico. Evidentemente, ninguna persona puede aceptar una periodicidad estricta

en la historia; si así fuera, estaríamos condenados a observar el desenvolvimiento de un drama totalmente determinista y predestinado. Por eso, Marx emplea una metáfora para subrayar que en la historia se pueden reconocer hechos específicos aparentemente repetitivos (“la primera como tragedia, la otra como farsa”), pues tienen rasgos que podrían parecer semejantes, pero cuyas circunstancias particulares son diferentes.

Los historiadores de la ciencia han identificado desde hace tiempo un vaivén, una aparente periodicidad, es decir, una alternancia entre el racionalismo y el romanticismo. Esta pugna, abierta o soterrada, ha dominado el desarrollo de la ciencia prácticamente desde sus orígenes. En estos momentos la ciencia refleja la crisis de la sociedad occidental, lo cual indica que estamos entrando en una de las transiciones del antagonismo mencionado. Si bien los tiempos de crisis son tiempos de riesgo y peligro, también lo son de oportunidad para las ideas innovadoras y para los cambios revolucionarios.

La Naturphilosophie

En las sociedades occidentales —americanas y europeas—, en los albores del siglo XIX, surgió un importante movimiento, tanto en el arte como en la ciencia, de pensadores que no encontraban satisfacción a sus inquietudes sociales y éticas en la atmósfera de estricto clasicismo, dominante en el mundo intelectual de la época. Frente al frío racionalismo ilustrado que imperaba, esta corriente surgió como un movimiento de exaltación del hombre, de la naturaleza y de la belleza, pero también como expresión social de rebeldía, libertad e independencia. Se buscaba, consciente o inconscientemente, una salida que privilegiara al individuo, al “yo” sobre la colectividad. A este anhelo utópico de persecución de un mundo ideal, sin más base que la voluntad o el fervor, a la búsqueda de soluciones fundadas en los sentimientos por encima de la razón, se le llama *romanticismo*.

El romanticismo europeo enfatiza lo individual por encima de lo colectivo, y es una reacción contra las leyes del arte neoclásico, en el cual la creatividad se encontraba restringida por reglas académicas, por tanto, es la expresión directa de las emociones que a menudo busca sus fuentes en el pasado o en las mitologías.

En las ciencias, el romanticismo postula que la naturaleza no puede ser explicada racionalmente y que sólo es posible percibirla de manera intuitiva. Por lo cual, no hay una descripción única del universo pues ésta depende del individuo, de su entorno y sus circunstancias; lo subjetivo, irracional e imaginativo se abren paso. Los filósofos Fichte y Schelling le dieron sustento a esta forma de pensamiento bajo el nombre de *Naturphilosophie*.

Ésta se opone radicalmente a la tradición empírico-matemática de los siglos anteriores y, sobre todo, a la corriente racionalista que dominaba desde el Siglo de las Luces, conocida como La Ilustración. Los racionalistas, fuertemente influidos por el éxito de la mecánica de Newton, pensaban que el mundo se podía entender y explicar completamente con base en estas leyes. En 1705 Edmund Halley predijo que el cometa que ahora lleva su nombre, y que había pasado cerca de la Tierra en el sistema solar en 1607 y 1682, regresaría en 1758. La exactitud de su predicción produjo entusiasmo y suscitó gran confianza en el poder de los métodos matemáticos para ir más allá en la descripción del universo, con lo cual se abría la posibilidad de predecir el futuro. La naturaleza se percibía de pronto como un libro abierto, dispuesta a revelar sus secretos a quien conociese su lenguaje: las matemáticas, según Galileo.

La base del racionalismo era la confianza en el poder ilimitado de la razón. Este era el medio que los humanos debían usar como único instrumento para acceder a la verdad, a la comprensión del universo y a la búsqueda de su propia felicidad. Los racionalistas seguían un método analítico como estrategia de estudio, que les llevaba a descomponer la naturaleza en partes. Además buscaban afanosamente la descripción detallada de la misma; un buen ejemplo es la clasificación de los seres vivos por Carl von Linné en un sistema que siguiese, en sus palabras, “el orden dictado por su Naturaleza”.

Otra oscilación del péndulo

A finales del siglo XIX y comienzos del XX hubo otra alternancia en la lucha sentimiento-razón. Al romanticismo le siguieron varios movimientos filosóficos apegados al racionalismo, tanto en las ciencias como en las artes, entre los cuales se encuentra “el realismo”, que tuvo muchos seguidores

en Francia, cuna de los enciclopedistas ilustrados. En las artes, como su nombre lo indica, tiende a dibujar un retrato exacto de la naturaleza y la sociedad. El ejemplo paradigmático es *La comedia humana* de Honoré de Balzac; retrato ambicioso y erudito de la sociedad con sus pasiones, virtudes y defectos.

En el fondo los choques entre las corrientes que estamos señalando forman parte de una pugna más antigua y todavía presente. Desde que los humanos aprendieron a cuestionarse y a interrogar a la naturaleza, existe el par antagónico “idealismo” *versus* “materialismo”. También estos términos son confusos, pues comúnmente el idealismo tiene una connotación positiva que se refiere a la capacidad de los individuos para desenvolverse y actuar durante la vida, guiados por principios morales muy elevados. Sin embargo, lo que caracteriza al idealismo filosófico es que sus partidarios opinan que el mundo y sus fenómenos no tienen una existencia propia e independiente del observador y, por tanto, no existe una realidad objetiva externa al individuo e independiente de su conciencia.

Por otra parte, en el lenguaje cotidiano, alguien es “materialista” cuando muestra un exagerado interés por las posesiones mundanas y el dinero. Sin embargo, el materialismo filosófico considera que el universo y la naturaleza tienen una existencia objetiva, aunque no estemos presentes. Es decir, que la razón del perímetro de una circunferencia con su radio es 3.141592..., aún si no hubiese habido matemático que lo formulase y que un árbol hace ruido al caer en la mitad del bosque, a pesar de que nadie lo escuche. El caso extremo de la negación de la existencia de una realidad objetiva, ajena a nuestra voluntad y sentidos es la escuela del solipsismo para la cual no existen incluso otras mentes además de la nuestra. Abraham Pais, un físico solipsista, nos relata en su biografía de Albert Einstein, como una vez que los dos paseaban mientras discutían en Princeton, Einstein le soltó de repente la pregunta: ¿En verdad cree usted que la luna existe solamente cuando usted la mira?

Durante la influencia del nuevo racionalismo vuelve la confianza de que la ciencia tiene la capacidad de explicar todos los fenómenos naturales e incluso los sociales. Más aún, que éstos son parte de las ciencias físicas y que como tales deben ser estudiados. En la actualidad, no todos los biólogos teóricos —en su mayoría físicos— están convencidos de que

la teoría de Darwin de la evolución biológica por selección natural sea la explicación total del fenómeno evolutivo, aunque a finales del siglo XIX el darwinismo encajaba perfectamente bien, lo mismo que el marxismo, en el racionalismo materialista. El neorromanticismo del siglo XX no es igual al precedente, ya que, por un lado, había sido influido por el realismo y, por el otro, la historia no es una mera repetición, como se mencionó con anterioridad. Éste tiene sus consecuencias graves, pues su naturaleza es más negativa y su rechazo al racionalismo es más violento.

En 1918, año en que termina la primera guerra mundial, Oswald Spengler —filósofo alemán— publica “La decadencia de Occidente”. El argumento central del libro es que las civilizaciones, al igual que los organismos, nacen, crecen, maduran y terminan en una degradación irreversible. Spengler opina que la cultura occidental agotó su fase creativa, situándose en una etapa cercana a la muerte intelectual. Este proceso se debía, en buena parte, a la preponderancia del materialismo sobre las formas espirituales, por lo cual afirma que el racionalismo y la ciencia son culpables de esta degradación espiritual (“Tras dos siglos de orgías científicas, hemos llegado a hartarnos”). Spengler inicia una línea de pensamiento con gran influencia en algunas corrientes contemporáneas que descalifican a la Ciencia, e inician una cruzada en contra de lo que llaman “verdades absolutas”. Otra frase muy ilustrativa del mismo autor es: “La Naturaleza es siempre una función de la cultura”, en ella no dice que la ciencia es función de la cultura (lo que sería aceptable), sino que la *Naturaleza* lo es, es decir, que ésta no tiene existencia propia en ausencia de los humanos.

Si bien las artes y las ciencias encontraron un ambiente de notable crecimiento durante la República de Weimar, la inestabilidad política y la gran crisis económica provocaron en el ciudadano medio un sentimiento de desesperanza y miedo ante un futuro incierto, lo que generó la necesidad de buscar culpables, ya fueran reales o ficticios, así como de buscar salidas oblicuas para poder fincar alguna esperanza, no importando si ésta carecía de bases. Es en este ambiente donde renacen las supersticiones y los mitos, así como los charlatanes que los explotan, con consecuencias nefastas. Adolf Hitler y Hermann Göring habían intentado una asonada en Munich en 1924, pero más tarde se convencieron de que reeditaba más, políticamente hablando, culpar a los judíos de la precaria situación económica, revivir los mitos de un pasado germánico grandioso y con-

vencer a las masas pobres e incultas de que cada uno de ellos era un superhombre en potencia, con un futuro esplendoroso si se les daba la oportunidad. Finalmente, la República de Weimar muere con el ascenso al poder del Partido Nazi en 1933.

El mundo hoy

Los profundos cambios que el mundo experimentó en la última década del siglo xx y que estuvieron asociados con la caída de la Unión Soviética y el fin del llamado “bloque socialista”, condujeron al apoderamiento a escala mundial de la escena política y económica por parte de Estados Unidos y su capitalismo neoliberal.

Analistas, comunicadores y personajes de la política occidental se congratularon con este cambio y auguraron un futuro de felicidad sin precedentes, en el cual la humanidad compartiría los valores estadounidenses de libertad, moral y democracia. Este escenario idílico se vino abajo antes de que lo hicieran las torres gemelas de Nueva York. No hace falta ser sabio para percibir que no todo el mundo quiere una homogeneización impuesta por la fuerza, ya que la “globalización” no significa que todos los pueblos de la Tierra tomen lo mejor de los demás y puedan incorporarlo a su estilo de vida en un intercambio fructífero y enriquecedor; más bien es la aceptación, sin posibilidad de apelación, de los estándares y valores estadounidenses. El rechazo a la imposición homogeneizante se demuestra con el auge mundial de los movimientos globalifóbicos, opuestos a la “McDonalización” de la economía, de las costumbres y los valores (incluso gastronómicos).

El tránsito del mundo bipolar al unipolar, lejos de aliviar las tensiones que se generaron en la Guerra Fría, ha traído consigo aberraciones en las relaciones entre naciones, sociedades e individuos. El mundo se encuentra inmerso en una crisis generalizada, con múltiples facetas, que se reconoce por las siguientes manifestaciones: la guerra, el método insensatamente elegido para resolver conflictos entre estados, naciones o grupos étnicos; el terrorismo, que implica tanto la acción desesperada de grupos minoritarios como el abuso ilegal de aquel Estado cleptocrático que tiene el poder suficiente para ejercerlo de manera impune; el desorden económico global que hace recaer el bienestar de una reducida clase

acaudalada en los hombros de una mayoría depauperada.

El mundo está dividido en dos partes; una está excluida de casi cualquier beneficio del desarrollo, desprovista de las condiciones que permiten una vida humana con un mínimo de dignidad. En esa parte se concentran los países del llamado Tercer Mundo.

La desesperanza conduce a la pérdida de fe en el progreso, a la búsqueda de soluciones personales inmediatas, por lo cual la mayoría se vuelca al misticismo, cae en los brazos de la religión, tradicional o emergente y ante la privatización de los servicios de salud que los vuelve inaccesibles al pueblo, confía su salud a prácticas pseudocientíficas, cuando no charlatanescas.

En una situación análoga a lo mencionado con anterioridad y semejante a la atmósfera de la República de Weimar, el cuadro aquí descrito orilla a la gente a la búsqueda y persecución de culpables, sean estos reales o figurados: estamos en otra transición del racionalismo al romanticismo. Esta vez se acusa, de nuevo, a la ciencia de ser parte del aparato de desigualdad e injusticia.

Los demonios de la ciencia

En la alternancia del racionalismo y el romanticismo, actualmente, el primero está en el banquillo de los acusados. Un poeta, más notable por su actuación política (presidente de Checoslovaquia desde 1989 y posteriormente de la República Checa hasta nuestros días⁶⁰) expresa su punto de vista de la siguiente manera:

“La caída del comunismo se puede interpretar como una señal de que el pensamiento moderno —basado en la premisa de que el mundo es discernible objetivamente y que el conocimiento así adquirido es susceptible de generalización— ha caído en una crisis final”.

Esta frase de Václav Havel describe muy bien a dónde pretendemos llegar: la crisis de valores no solamente genera una pérdida de confianza

⁶⁰Este ensayo se publicó en el 2002. Havel fue presidente de la República Checa hasta el 2003.

en la racionalidad, sino que además produce confusión entre los intelectuales, conduce a errores metodológicos como el de Havel, al confundir el marxismo con la burocracia soviética, y al grosero disparate de concluir, bajo esta premisa falsa, que el mundo no es discernible objetivamente. Estas ideas encuentran eco hoy en día en las ciencias sociales en las escuelas del posmodernismo y del relativismo cultural. El punto de vista de que los valores de una cultura no son bienes absolutos, sino que dependen del desarrollo histórico de cada cultura —doctrina conocida como relativismo cultural— es innegable desde la perspectiva de la antropología (los principios morales pueden ser distintos en diferentes culturas sin que se pueda decidir cuál es el bueno y cuál el malo (los sacrificios humanos en la antigua Tenochtitlan horrorizaron a los españoles que, en cambio, veían muy natural el genocidio de sus moros y sefaradíes). Sin embargo, extrapolar esta idea hasta la afirmación de que los principios y leyes de la Naturaleza dependen también del marco de referencia de cada cultura, lo menos que puede producir es una sonrisa.

Nosotros pensamos que el universo se puede discernir objetivamente y que el conocimiento así adquirido es susceptible de generalización, pero no podemos cerrar los ojos ante la diversidad de críticas y ataques a la ciencia que son legítimas y tienen fundamentos reales. La ciencia ha estado del lado de los intereses más perversos y carga consigo pecados y demonios que es necesario exorcizar.

Entre estos demonios, se encuentra la relación de la ciencia con la tecnología guerrera. Pablo González Casanova⁶¹ dice que:

“tenemos que pensar que la globalización está piloteada por un complejo empresarial-financiero-tecnocientífico-político y militar que ha alcanzado altos niveles de eficiencia en la estructuración, articulación y organización de las partes que integran al complejo, muchas de las cuales son empresas o instituciones estatales también complejas. Así, el megacomplejo dominante, o el complejo de complejos dominante, posee grandes empresas que disponen de bancos para su financiamiento, de centros de investigación científica

⁶¹P. González Casanova. *Las nuevas ciencias y las humanidades: de la academia a la política*, 2004. Editorial Anthropos

para sus tecnologías, de casas de publicidad para difundir las virtudes de sus productos, de políticos y militares para la apertura y ampliación de sus “mercados de insumos”, o de sus mercados de realización y venta, o de sus mercados de contratación de trabajadores calificados y no calificados”.

La asociación de los científicos con la guerra no es nueva; ya el notable Arquímedes de Siracusa en el siglo III a.C. inventaba máquinas de combate durante la guerra de su ciudad natal contra los romanos. A partir de entonces, se vuelve muy difícil encontrar algún instrumento de muerte que no dependa de un desarrollo tecnológico basado en trabajos científicos. De hecho, si aceptamos que la tecnología es ciencia aplicada, entonces quizá se pueda afirmar que todos los instrumentos de exterminio modernos son “hijos” de la ciencia.

Como lo menciona González Casanova, la ciencia forma parte de un complejo empresarial-financiero-tecnocientífico-político y militar. Este hecho restringe severamente la capacidad científica de decidir las líneas de investigación, pues el financiamiento proveniente de este complejo no se ocupa de la ciencia como deleite intelectual ni como medio para atender los problemas de las mayorías, sino que forma parte del aparato de dominación. En el mundo globalizado y dominado por el neoliberalismo los Estados han ido dejando, paulatinamente, de ser la fuente principal de financiamiento de la actividad científica. Las pautas de investigación biotecnológica, biomédica, de la ciencia de materiales, informática y de muchas otras áreas obedecen a los intereses de grandes compañías que, a su vez, cumplen el interés de la ganancia inmediata.

Aún si fuésemos lo suficientemente indulgentes para pasar por alto la asociación de la ciencia con los medios bélicos, existen también aspectos negativos en el terreno de la ética. La imagen quijotesca que la sociedad tiene del científico como individuo distraído de su entorno, habitante del mundo de los sueños y embebido en su trabajo, a menudo propalada por los mismos científicos como para rehuir de su responsabilidad, es simple y llanamente falsa. Los científicos, siendo gente educada, con una formación académica de muchos años, estarían en condiciones, si no obligados, de saber qué es lo que sucede en su entorno. Bajo estas circunstancias es difícil encontrar una explicación acerca de la razón por la cual no existe

más que un puñado de ellos que levanta su voz contra las complicidades señaladas y contra el desinterés por nuestro planeta y por los pobres del mismo.

Si bien es cierto que la ciencia ha generado un bienestar material en la humanidad (o mejor dicho, en parte de la humanidad) también ha dejado de lado la moral y la ética. Es decir, que no se ha preocupado por buscar respuestas satisfactorias a las preguntas de la gente acerca del sentido, valor y propósito de la vida. La ciencia se ha convertido en una religión secular con “verdades” reveladas a los mortales sólo a través de sacerdotes, dueños exclusivos del saber universal: la ciencia es la base de la tecnología moderna y ésta lo es del capitalismo actual.

Asombro y escepticismo

¿Cómo debería ser entonces la ciencia? Vayamos a sus fundamentos, a ese núcleo aún no contaminado y que eventualmente permitirá el rescate de su fondo ético. La ciencia consta de varios elementos; podemos decir que quizá, someramente, los más importantes sean el asombro y el escepticismo. Lo primero nos lleva a maravillarnos ante el universo y a preguntarnos acerca de su origen, desarrollo y evolución. Este elemento también lo tienen las religiones; vivir en “el temor a Dios” se entiende actualmente de manera errónea como el miedo constante y continuo a la deidad. El uso de “temor” en esta expresión debe tomarse como sinónimo de sobrecogimiento, pasmo o asombro (como en la frase inglesa *awe of God* o en alemán *Gottes Ehrfurt*). Sin embargo, a diferencia de las religiones, la ciencia tiene un interés exclusivo por el mundo físico y sus manifestaciones, y deja la espiritualidad al albedrío personal. Lo segundo es el ingrediente que distingue a la ciencia de las religiones. El escepticismo implica una actitud crítica ante los hechos y fenómenos, ya sean naturales o sociales. En la ciencia las teorías y explicaciones no se aceptan sin discusión y convencimiento, no se admiten las explicaciones del tipo “porque sí” o “porque Dios quiere”. Por ello, un científico debe ser parte de la conciencia de la sociedad (empezando por su gremio), debe tener un compromiso con su gente y luchar por desterrar las supersticiones y la charlatanería. En los medios de comunicación impresos y electrónicos, son escasos los espacios dedicados a la ciencia y abundan los que de

una manera u otra fomentan prejuicios, estereotipos, pseudociencias y supersticiones. Detrás de todo esto se encuentra una poderosa industria que logra enormes ganancias explotando la credibilidad y buena fe de la gente. El psicoanálisis, la astrología, el pensamiento *new age* y las religiones modernas representan negocios formidables, que quebrarían inmediatamente si la educación fomentara con éxito una actitud de escepticismo entre los ciudadanos.

No podemos engañarnos con la pretensión ingenua de que con la pura voluntad podemos cambiar una estructura con intereses políticos y económicos colosales. Sin embargo, quedarse sin hacer algo es convalidar la situación.

La educación es un campo en donde se forma el espíritu, lo cual repercute en la sociedad, por lo que es un espacio en donde se puede actuar para cambiar el estado de las cosas y que puede llevar a fundar una corriente de opinión y trabajo que sea propositiva y, más aún, cuyas propuestas convengan a la gente. En nuestro caso especial el énfasis estaría situado en la educación superior.

Interrogantes

Existe una buena cantidad de estudios y diagnósticos acerca de los problemas de la educación superior en México, en los cuales se han formulado una serie de preguntas, entre las que destacan las siguientes:

¿Diversidad u homogeneidad? La educación superior pública se encuentra desde hace tiempo bajo presiones para uniformar planes de estudio y para aplicar métodos homogeneizantes de evaluación tanto de estudiantes como de profesores. Un ejemplo son los exámenes departamentales y las evaluaciones a los docentes para la asignación de sobresueldos.

Resulta curioso que esta tendencia cobre fuerza incluso en sectores académicos, cuando los avances científicos recientes apuntan en dirección contraria. La física y la matemática de los sistemas complejos muestran que la diversidad ayuda a que los sistemas incrementen su capacidad de adaptación ante situaciones novedosas. Los planes de estudio y los programas de materias rígidos no dejan campo de maniobra para la diversidad y son la garantía de problemas futuros. En la Facultad de Ciencias de

la UNAM, la mitad de las materias de la carrera de matemáticas son optativas; los estudiantes pueden elegir de un conjunto bastante amplio y de esa manera decidir de manera flexible su formación profesional. Adicionalmente, cada profesor elige el enfoque y la orientación que le dará a sus materias. El resultado es que esta facultad produce matemáticos muy diversos y todos ellos con grandes posibilidades de éxito al insertarse en el mercado laboral o en el mundo académico. Este caso muestra un ejemplo contundente de que se puede enfrentar a la política de uniformación seguida por las autoridades educativas de México. Hay que defender la libertad de cátedra y pugnar por que no se implante nada parecido a exámenes departamentales. La homogeneización de las personas y de las actividades humanas es característica de los regímenes totalitarios.

Otra interrogante sería: ¿Elite o masas? También hay que responder con firmeza a la tendencia en boga de dificultar el ingreso y la permanencia de estudiantes que por restricciones personales o, la mayoría de las veces, por su nivel socio económico, no pueden ser estudiantes de tiempo completo o tener el mismo rendimiento que otros; hay que convencer de que un estudiante que no termina una carrera es útil a la sociedad y no es una “inversión desperdiciada”; aquél que abandona los estudios a la mitad de la carrera, eleva el nivel promedio de la cultura de la sociedad y esto es favorable. Mejor todavía sería que ese individuo pudiera retomar sus estudios cuando su situación se lo permitiera. Rechazamos pues el absolutismo de las dicotomías, así como nos resulta aberrante la intimidación “están con los Estados Unidos o con los terroristas” recientemente proferida por George W. Bush, al igual que estamos en contra de ser obligados a elegir entre los extremos “educación elitista con calidad” *versus* “educación masiva mediocre”. ¿Quién puede decir que tiene la demostración fehaciente de que no es posible tener una educación masiva con calidad? Normalmente, frases como las entrecomilladas representan lugares comunes que, a fuerza de repetición, terminan siendo aceptadas sin reserva; y es insólito que los científicos, que casi por definición no deberían aceptar afirmaciones contundentes sin evidencia que las sostenga, de buena gana se traguen mitos, como el propalado por un “líder” académico⁶², quien afirma que con la edad “decrece la capacidad de los

⁶²Luis Mier y Terán Casanueva, rector general de la Universidad Autónoma Metropol-

profesores para generar nuevos conocimientos” y que “un profesor de arriba de 60 años (sic) no puede competir en productividad con los profesores jóvenes”. Alguien alguna vez dijo que una mentira repetida mil veces se vuelve verdad.

Otras preguntas son: ¿Especialización o generalización?, ¿universidad pública o universidad privada? La especialización prematura de los estudiantes desemboca en la formación de profesionales con un elevado grado de competencia, pero en campos cada vez más restringidos, lo cual provoca el aislamiento de los científicos. La comunicación, ya no digamos entre físicos y biólogos, por mencionar alguna, sino entre biólogos de diferentes especialidades ya es casi imposible: un ecólogo de campo y un genetista molecular pueden afrontar dificultades para encontrar un tema común de conversación científica. La superespecialización profesional tiene su análogo en la evolución biológica; a todos nos han enseñado que un organismo muy especializado puede ser muy eficiente en la explotación de su entorno, pero extremadamente frágil ante cambios del mismo. El oso hormiguero tiene una anatomía muy adecuada para la búsqueda, caza e ingestión de hormigas únicamente, pero ¿qué pasa si las hormigas se acaban? A un profesionalista superespecializado también se le pueden acabar las hormigas.

Un egresado de una universidad pública y uno de una privada son, evidentemente, distintos en muchos aspectos. Uno de ellos es la incuestionable diferencia salarial que obtendrán al salir. Esto no es reflejo de la calidad de la educación que recibieron o de la cultura adquirida (como lo muestra el caso del gerente⁶³ de *México S. A.*), sino de lo útiles que serán al aparato productivo. Hasta ahora, los empresarios mexicanos han preferido a un profesionalista bien capacitado para resolver tareas específicas y puntuales. Nosotros tenemos que convencer a los empleadores (públicos o privados) que les resulta más redituable alguien con capacidad para adecuarse exitosamente a un entorno rápidamente cambiante. Es decir, debemos persuadirlos de que conviene más mantener en su empleo a alguien adaptable a situaciones novedosas que remplazar a una persona superespecializada cuando sus habilidades dejan de ser útiles y traer a alguien nuevo, con todo el problema que representa iniciarlo en las labores

litana en el 2002: *La Jornada*, 26/11/01

⁶³En el 2002 era Vicente Fox

de un centro de trabajo. En pocas palabras, creemos que la universidad pública debe preparar “milusos” de alto nivel, en lugar de especialistas con una visión reducida.

¿Cómo incorporar el conocimiento moderno a la enseñanza? Nuestros planes de estudios continúan con la idea de presentar un desarrollo compartimentalizado de la ciencia. Esto ha sido bueno hasta ahora para la formación “intelectual” del estudiante, pero ¿será adecuado en un mundo en rápido cambio? Existe una tendencia moderna a borrar las fronteras artificiales entre las ciencias, lo cual se aprecia con la emergencia de disciplinas como la biología matemática, la bioinformática y la física biológica. Siguiendo nuestra tendencia la propuesta sería, por poner un ejemplo, presentar la física a la luz de la biología y la biología a la luz de la física. En ningún lugar se ha analizado qué repercusiones tendría esto en los planes y programas de estudio ¿un tronco común?, ¿módulos polivalentes? En pocas palabras, ¿cuál sería el mejor camino para llevar a los estudiantes a un trabajo productivo temprano rompiendo así la estratificación social en la ciencia con sus mandarines y siervos? No lo sabemos, posiblemente, grupos relativamente pequeños de profesores que impartan materias en los primeros semestres pudieran ponerse de acuerdo acerca de cómo lograr que los estudiantes, independientemente de sus carreras, conozcan desde muy temprano cuáles son las polémicas contemporáneas en la ciencia; y se enfrenten así a una serie amplia de lecturas generales que los lleven a una dinámica autosostenida de estudio para la adquisición de herramientas para el pensamiento. En otras palabras, romper con la obtención pasiva de conocimiento como un “bagaje inerte” y convencer al estudiante de que el mundo se ve diferente (mucho más lindo) si se saben desentrañar las sutilezas del razonamiento por analogía, descubrir la utilidad del formalismo y aprender a dejar suelta la fantasía acerca de los aspectos metafísicos y filosóficos de la ciencia.

Colofón

En las épocas de crisis afloran las mentes lúcidas y valerosas. En la transición del racionalismo al romanticismo, en los albores del siglo XIX, existió un grupo de pensadores que se llamaron a sí mismos los *morfólogos racionalistas*. Goethe, D’Aubenton, Geoffroy Saint-Hilaire y Lamarck son

algunos de los nombres asociados con esta escuela. A finales del mismo siglo, y en medio de otra época más de transición, aparece la enorme personalidad de D'Arcy Wentworth Thompson. Todos estos naturalistas, montados a caballo entre el final de una etapa de racionalismo y el comienzo de una de romanticismo, sintetizaron lo mejor de ambos mundos: la pasión por el estudio detallado, minucioso y reductivo, propio de los racionalistas, y el amor de los románticos por los principios generales.

Todos ellos, ahora desdeñados por el *establishment* científico, fueron seres creativos, a la vez racionales y emotivos, que dentro de las restricciones sociales llegaron a ser artífices de su propia vida y dueños de su destino. Esto en contraste chocante con la situación neoliberal presente, en la que todos los aspectos de la vida humana para ser considerados de valía, tienen que representar ganancia o beneficio capitalista, y en la cual el hombre no es más que el medio que tienen las mercancías para producir más mercancías.

MIL gracias a mi querido amigo y maestro Germinal Cocho por permitir que le robara la mitad de este capítulo. Efectivamente, el artículo original que apareció en la revista *Ciencias* en junio del 2002 con el título de “la Ciencia y sus demonios”, fue escrito por los dos. Lo incluí en este libro porque creo que los señalamientos que ahí se hacen de las deformaciones del relativismo cultural y del solipsismo están muy presentes. También encuentro valioso que aquí se hagan propuestas muy claras ante algunos de los problemas que aquejan a nuestra sociedad y que son producto de un gobierno que se desentiende de sus obligaciones para procurar educación al Pueblo.

El título del artículo original está obviamente inspirado por el libro “The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark” escrito por Carl Sagan y Ann Druyan en 1995 y que fue publicado en castellano como “El mundo y sus demonios”. Para mí, es un honor haber tomado inspiración en el título de un libro de Sagan (no es plagio pues se trata de la traducción, mala por cierto, del título original) pues, como se sabe, Sagan fue un científico comprometido con las mejores causas. Fue apresado en dos ocasiones por su militancia activa en grupos pacifistas, renunció a seguir colaborando en el comité científico asesor de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos como protesta por el involucramiento de su país en la guerra de Vietnam y combatió activamente la pseudociencia, la religión, la ovnilogía y muchas otras manifestaciones que son producto de la ignorancia.



Bolitas

LA desaparición del bloque soviético en 1990 trajo como consecuencia la aparición sin contrapesos de un poder mundial unipolar. La supremacía que impusieron los Estados Unidos de América sobre el resto del mundo es incontestable desde el punto de vista militar e ideológico y ha conducido a la humanidad, por las buenas o por las malas, a una globalización homogeneizante. Una globalización que no quiere decir que los pueblos de la Tierra tomen lo mejor los unos de los otros para enriquecer su acervo cultural sino que más bien significa la aceptación, sin posibilidad de apelación,, de los estándares y valores estadounidenses. Esto se puede constatar todos los días en los medios electrónicos; la música, los deportes y el “entretenimiento” ya son importados del Norte. Un ejemplo claro es la exagerada exaltación por “la vida sana”. Esta pasión no tendría nada de malo si no fuera porque es promovida —casi impuesta— por compañías que logran pingües ganancias con la venta de bienes de consumo que la mayor parte de las veces representan un engaño total: artefactos o remedios para lograr una figura perfecta, un desempeño sexual extraordinario o bien curas para todos los males incluida la mala suerte o el mal de amores. Dado que el liberalismo económico y sus agentes políticos no entienden de ética o de moral y dado también que su única finalidad es la ganancia inmediata, no es de extrañar que sea el mismo sistema el que de manera hipócrita, provoca los males que pretende después remediar. Como todos sabemos, la comida chatarra es el origen de muchos de los males, como la hipertensión, hipercolesterolemia y la obesidad, que después las medicinas chatarra pretenden curar.

Dentro de la comercialización actual de la salud se encuentran tanto métodos y técnicas emergentes como tradicionales. El torbellino con el que nos atosigan los medios incluye la medicina biomagnética, la iridología, la cirugía psíquica, la alfabiótica, la aromaterapia y muchas otras. Valdría la pena discutir cada caso y ponerlos, de uno por uno, en su lugar pero este ensayo está dedicado a otros fines; aquí vamos a hablar de una teoría médica que, como veremos, tuvo una legítima razón de ser en sus orígenes pero que hoy se cuestiona. Sin embargo, su génesis, historia y filosofía, así como su importancia económica y la amplia aceptación que tiene en algunos estratos de la población hace que valga la pena ponerla en el lente de una discusión desapasionada. Me refiero a la homeopatía.

La medicina en el siglo xix

Pese al esfuerzo racionalista del enciclopedismo francés de finales del siglo xviii, la medicina se manejó todavía hasta bien entrado el siglo xix como un oficio más cercano a la brujería que a una actividad científica. No fue sino hasta la segunda mitad del mismo siglo que estudiosos de la talla de Louis Pasteur, Claude Bernard y otros sentaron las bases de su estudio sistemático y contribuyeron para que la disciplina de Hipócrates y Galeno empezara a liberarse del lastre, que llevó consigo durante siglos, de prácticas empíricas sin sustento en otra cosa que no fueran mitos y fábulas.

A comienzos del xix todavía se encontraba vigente y muy en boga la teoría médica del equilibrio de los humores fundamentales. Originada en algún sitio del Peloponeso alrededor del siglo vi antes de nuestra era, se basaba en el supuesto de que los humores eran cuatro líquidos fundamentales del cuerpo humano: sangre, bilis negra, flema y bilis amarilla. El desequilibrio del balance de éstos era la causa de las enfermedades, de los rasgos de la personalidad de la gente y su comportamiento social. La cosmovisión de la época iba incluso más lejos: los cuatro humores tenían su contraparte en otros aspectos de la Naturaleza y todo formaba un cuadro coherente y completo. Por ejemplo, la sangre se asociaba con la primavera, el aire, el hígado, el comportamiento valiente y amoroso y también tenía asociada a la salamandra como tótem. Análogamente, aquellos dominados por la bilis negra son insomnes y abatidos (la palabra "atrabiliario" proviene del latín *atra bilis* que significa bilis negra. "Melancolía" también quiere decir lo mismo pero por la ruta del griego *melas*, negro, y *jolé*, bilis). Los individuos con exceso de bilis amarilla serían coléricos e intolerantes y, por último, los flemáticos se caracterizan por la desidia, apatía, y la falta de emociones. Curiosamente, lo que hoy llamamos "humor" (el sentido humano de percepción de la diversión y la propensión a la risa) proviene de la clasificación hipocrática; eran los individuos sanguíneos los que tenían mejor "humor".

En estricta consecuencia con estas ideas, la práctica médica de la época que nos interesa intentaba mantener el equilibrio de los humores mediante métodos que en nuestro tiempo podríamos calificar bondadosamente como "ligeramente brutales". Las sangrías (ya fueran mediante lanceta o

con sanguijuelas) eran prescritas con frecuencia cuando se pensaba que el desequilibrio era causado por el exceso de sangre, el uso de potentes eméticos (sustancias que provocan el vómito), lavativas, enemas o emplastos altamente tóxicos de compuestos de mercurio o cromo, también eran prescritos según fuera el caso. Si bien estos métodos han sido casi totalmente abandonados, en su época podían constituir buenas soluciones por malas razones. Por ejemplo, en casos de hipertensión o de policeturia, los pacientes sometidos a sangrías podían tener una mejora sintomática notable que no se debía al equilibrio de los humores sino al efecto mecánico del sangrado o a la consecuente disminución de eritrocitos en la sangre.

Para terminar de iluminar la escena de la medicina de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, hay que tomar en cuenta que la mayoría de la población no tenía acceso ni siquiera a estos horrores. Las grandes masas, con suerte, tenían que recurrir a barberos que ejercían su oficio y simultáneamente el papel de cirujanos o dentistas. Este es el cuadro en el que entra a la historia el joven Samuel Hahnemann cuando ingresa a la universidad de Leipzig con el noble ánimo de estudiar medicina para aliviar el dolor de la gente.

Similia similibus curentur

Hahnemann nació en 1755 en el seno de una familia modesta de artesanos de la porcelana en la ciudad sajona de Meissen. Trevor Cook, uno de sus biógrafos más reputado, afirma que: "...de niño, mostraba una notable aptitud para el estudio, destacando tanto en ciencia como en lenguas extranjeras. Hablaba fluidamente inglés, francés, griego y latín". En 1775 se matriculó en la escuela de medicina de la Universidad de Leipzig, misma que abandonó rápidamente pues sus instalaciones no le parecieron satisfactorias. De ahí pasó a la Universidad de Viena donde su estancia también fue breve (nueve meses) pues no pudo sostenerse económicamente. Gracias a la recomendación de un profesor que le tomó aprecio en la capital austriaca, consiguió un trabajo como médico y bibliotecario de un poderoso e influyente funcionario público en Hermannstadt (lo que ahora es Sibiu, Rumania). En este lapso tuvo tiempo y tranquilidad para dedicarse al estudio autodidacta en la bien provista biblioteca del funcio-

nario, labor que rindió frutos dos años después cuando luego de cursar un semestre en la Universidad de Erlangen solicitó directamente en 1779 el examen para obtener el título de médico presentando la tesis *Conspectus adfectuum spasmodicorum aetiologicus et therapeuticus* (mi traducción libre sería algo así como: “Observación acerca de las causas y tratamiento de los calambres”).

A partir de ese momento, no se sabe mucho de su vida (salvo que contrajo matrimonio en 1782) hasta el año de 1784 cuando se muda a la ciudad de Dresden. Es en este periodo en el cual —en el contexto de una medicina que, como vimos, normalmente agregaba a los males del paciente los derivados de sus métodos y técnicas— Hahnemann se siente, con toda la razón del mundo, horrorizado de la práctica médica de la época, abandona la medicina y se labra una buena reputación como traductor de textos científicos.

Ocupado en esta labor, en 1790 cae en sus manos el libro *Materia Medica* de William Cullen y, mientras lo traduce, Hahnemann aprende que el autor recomienda la quinina como un remedio contra la malaria. Poco convencido de las razones que Cullen expone, él decide experimentar en su persona y someterse a pequeñas dosis de quinina durante periodos largos, lo que le produce fiebres intermitentes, que son síntoma de la malaria, y le sugiere el principio médico de *similia similibus curentur* (“los semejantes curan a los semejantes”).

Después de años de intensa actividad de recopilación y experimentación, en 1796 publica el “Ensayo sobre un nuevo principio” y regresa a la práctica de la medicina. En esta obra consolida su estudio sobre la quina y lo extiende a muchas otras plantas y compuestos minerales.

Hahnemann se establece en 1804 en la ciudad de Torgau sobre el río Elba (ciudad que ganó fama en la segunda guerra mundial pues ahí se encontraron por vez primera los ejércitos soviético y estadounidense cuando cerraban la pinza sobre lo que quedaba del Tercer Reich). Reside siete años en esta población, lo que le representa todo un récord personal tomando en cuenta que durante los doce anteriores se mudó de ciudad catorce veces. Se puede decir que Torgau es la cuna de la homeopatía. Es aquí donde publica *Fragmenta de viribus*, seguido de la Medicina de la experiencia y posteriormente lo que se considera su *magnum opus*: *El Organon*.

En 1812 regresa a Leipzig y consigue un puesto de profesor en la universidad local. Desde esa posición comienza a propagar su teoría de que lo semejante cura lo semejante. Esto es, si uno padece de fiebre, entonces el remedio es tomar en dosis pequeñas la misma sustancia que produce la fiebre o si se presenta una alergia, pues entonces habrá que tomar una sustancia que la produzca (siempre en dosis pequeñas). Sus cursos tuvieron un gran éxito inicial pero Hahnemann acompañaba la exposición de su sistema médico con ataques cada vez más virulentos contra el *establishment* médico, lo que le fue haciendo perder la confianza de sus colegas y después la popularidad entre los estudiantes. Con el tiempo llegó al extremo de tener un grupo de sólo cinco estudiantes y quedó en una posición muy frágil ante los ataques de sus colegas que, a la larga, lo forzaron a abandonar Leipzig. Tuvo entonces la suerte de encontrar el mecenazgo del duque Ferdinando de Anhalt-Cöthen (la misma corte ducal que cien años atrás acogió a Johann Sebastian Bach) quien le permitió que esencialmente hiciera en la ciudad de Cöthen lo que le vinera en gana, lo que en su caso consistía en preparar sus propias medicinas y llevar a cabo sus experimentos con tranquilidad.

En 1830 fallece su esposa y cuatro años más tarde se casa con Melanie d'Hervilly, una joven francesa cuarenta años menor que él. Este matrimonio lo lleva a cambiarse una vez más, la última, de ciudad. Se establece en París, donde continúa su trabajo hasta que la muerte lo alcanza en 1843.

Una lágrima en el mar

¿En qué consiste exactamente el método homeopático de Hahnemann? La homeopatía es una doctrina producto de una intensa y prolongada reflexión y sus postulados son claros:

1. Ley de la similitud
2. Experimentación pura
3. Reglas de curación
4. Dosis infinitesimal y medicamento único

El primer punto afirma que en la naturaleza no existe nada que pueda dañar y que no pueda, a la vez, curar, pero exclusivamente curar aquello que esta misma sustancia pueda llegar a causar.

La experimentación pura se refiere a la imposibilidad de determinar *a priori* con certeza el efecto de un medicamento sobre una persona enferma. Puesto que se administran los “semejantes”, es imposible saber cuáles son los efectos o síntomas de la enfermedad misma y cuáles los del medicamento. En consecuencia, el método de experimentación homeopática tiene que llevarse a cabo exclusivamente en individuos sanos.

Las reglas de curación se refieren al tratamiento de las enfermedades siguiendo órdenes temporales y espaciales perfectamente bien especificados. Por ejemplo, la primera regla dice que la curación se produce de adentro hacia afuera, donde “adentro” quiere decir el plano mental y “afuera” las mucosas y la piel. Por ejemplo, si se somete a tratamiento a un paciente por depresión y al ser tratado mejora pero como consecuencia le surge una dermatitis, entonces esto es una clara indicación de que la curación va por buen camino pues el nuevo mal es más externo que el primero y esta dolencia se debe respetar si no se desea una regresión al cuadro anterior. Las demás reglas —son cuatro en total— son semejantes y hablan de curar de “arriba” hacia “abajo” y del orden temporal en el que van apareciendo las enfermedades.

El cuarto rubro —dosis infinitesimal y medicamento único— es el núcleo mismo de la medicina homeopática y es quizá, a la vez, el más difundido y el peor entendido. Se parte del supuesto, como lo dice la ley de la similitud, de que no hay sustancias inertes en la naturaleza. Pero para que ellas alcancen el grado necesario para actuar sobre el organismo, tienen que ser sometidas a una preparación física especial. En la práctica homeopática se emplean únicamente sustancias después que han sido “dinamizadas”. La dinamización es un sistema de diluciones sucesivas que constituyen el fundamento de la preparación de los remedios homeopáticos. Se toma una parte del compuesto esencial que puede ser mineral, vegetal o animal y se diluye en agua o en alcohol (cuando la sustancia es insoluble, se muele finamente y se mezcla con lactosa para su dilución), se emplea la letra X, el número diez en romano, para representar la dilución a la que se llega después de mezclar una parte del original en 9 de agua. Este proceso se puede repetir varias veces. Una dilución 6X quie-

re decir que se llevó a cabo el proceso 6 veces y que consecuentemente queda una parte del material original entre un millón de partes de la dilución final, una dilución 30X quiere decir que la parte original es una entre 1,000,000,000,000,000,000,000,000,000 de otras. Análogamente, se emplean los numerales romanos C y M para representar las diluciones 1:100 y 1:1000.

La segunda parte del proceso de dinamización de los remedios homeopáticos es la *sucusión* que es la manera como se agita la mezcla después de cada paso de dilución. Tiene que ser una agitación vigorosa golpeando el recipiente con la mano o con una pieza de cuero, se tienen que llevar a cabo un mínimo de cien agitaciones enérgicas por minuto (hoy en día este paso ya se hace mecánicamente). Una vez completado el proceso podemos entonces hablar, por ejemplo, de “la primera dinamización centesimal” (1C) o de la “sexta dinamización decimal” (6X) y así sucesivamente. Con el líquido resultante se impregnan, como todo el mundo sabe, unos glóbulos de azúcar y es esta la presentación que recibe el paciente.

Hahnemann empleaba y recomendaba diluciones de 6X hasta 24X y eso fue la norma durante mucho tiempo hasta comienzos del siglo xx cuando James Tyler Kent, un médico estadounidense que se convirtió de la medicina académica a la homeopática y que tuvo gran influencia en el crecimiento de la homeopatía en su país y en Inglaterra, emprendió una cruzada a favor de diluciones más altas y, dependiendo de la enfermedad, recomendaba con pasión y en ocasiones con enojo y desdén hacia los médicos homeópatas que no seguían sus pasos, las diluciones 30C, 200C, 1M, 50M, CM, DM y MM.

La estructura molecular de la materia

Los filósofos materialistas griegos Leucipo de Mileto y su discípulo Demócrito de Abdera, así como el romano Tito Lucrecio Caro, sugirieron que la materia estaba compuesta por átomos: pequeñísimas partículas cuyas características físicas determinarían las propiedades macroscópicas de los objetos de nuestro mundo. El cristianismo temprano reprimió estas concepciones pues complicaba terriblemente el tener que ofrecer explicaciones para la composición del alma y el espíritu, conceptos centrales

para la cosmogonía cristiana. Después de siglos de concepciones equivocadas acerca de la composición de la materia, no es hasta el siglo XVIII que Rudjer Josip Boscovich, un jesuita croata estudioso de la astronomía y la física, enuncia una teoría atómica coherente. Boscovich fallece en 1787, diez años después del nacimiento del inglés John Dalton y corresponde a éste reunir evidencia incontestable a favor de que la materia se encuentra conformada por átomos, de manera que un tipo de átomo corresponde a un elemento y sus combinaciones dan lugar a los compuestos que forman las sustancias que encontramos a nuestro alrededor. Aún así, hubo durante algún tiempo confusión entre lo que son los átomos y lo que son las moléculas. El concepto de molécula fue propuesto por vez primera por Amedeo Avogadro quien alrededor de 1811 mostró que cada litro de gas a veinte grados centígrados y una atmósfera de presión contiene una cantidad enorme de moléculas (un diez seguido de veintidós ceros, que no por muy grande es inimaginable).

Aunque a nosotros nos parece de lo más natural pensar en átomos y moléculas pues así hemos sido educados desde pequeños, la idea de que la materia está formada por los átomos y sus combinaciones que son las moléculas fue resistida hasta los comienzos del siglo XX. Uno de los representantes más conspicuos de la última línea de resistencia fue Ernst Mach, físico y filósofo austriaco asociado a la escuela del positivismo. La cuestión de la estructura de la materia quedó de una buena vez y por todas resuelta con los trabajos de Albert Einstein en 1905 y Jean Perrin en 1911. Así pues, la materia se forma de moléculas y éstas son entes discretos muy pequeños pero que tienen una individualidad espacial única y se caracterizan por tener dimensiones físicas determinadas. Por ejemplo, una molécula de azúcar (glucosa) mide aproximadamente un nanómetro, que es la milmillonésima parte de un metro.

Hagamos un ejercicio aritmético: veinte gotas de líquido hacen un mililitro (un centímetro cúbico), por lo tanto, tenemos 20 millones de gotas por metro cúbico. Por otra parte, si la molécula de glucosa mide un nanómetro (o más fácil; la millonésima parte de un milímetro) entonces (pues los volúmenes van como el cubo de las dimensiones lineales) hay un número igual a un diez seguido de veinte ceros de moléculas en una gota. Si esta gota la sometemos a una dilución homeopática de 30X entonces hace falta un volumen igual a un diez con treinta y nueve ceros de gotas para

encontrar una molécula. Prosiguiendo el ejercicio, llegamos al resultado de que tal cantidad de gotas ocupan un volumen igual al de una esfera de diez millones de kilómetros de radio. Resumiendo, después de una dilución 30X (muy baja para los gustos de Tyler Kent) existe una molécula del compuesto original en una esfera que tiene un radio semejante a la distancia del Sol a Venus, si de ahí sacamos una gota para mojar nuestras bolitas de azúcar, es absolutamente seguro que no habrá ninguna molécula del compuesto original. Esto no admite mayor discusión, hacerlo sería una necedad

La memoria del agua

Entonces, si no queda una sola molécula de la sustancia original en mis chochitos de azúcar ¿qué es lo que cura de la homeopatía, si es que cura?

Una vez que se aceptó la naturaleza molecular de la materia —que Hahnemann nunca conoció— esta cuestión queda abierta y es polémica. Tenemos a teóricos de la homeopatía clásica como el contemporáneo inglés Peter Morrell que afirman que la homeopatía se basa en un agente llamado *dynamis* o “fuerza vital”. Según Morrell, esta fuerza vital es la hipótesis de trabajo con la cual se explica cómo una sustancia “potenciada” —que no es del mundo físico— entra en contacto con la estructura física de un organismo y altera su estado. En sus palabras:

“Podemos definir la fuerza vital como una nada. Una entidad invisible e intangible que manipula la sustancia del cuerpo y produce el fenómeno que llamamos vida. La fuerza vital es la fuerza motriz y la organizadora de las moléculas. Es aquel agente que se encuentra en un organismo vivo y claramente ausente en un cadáver. En la muerte, las moléculas pierden su organización y velocidad de movimiento. Ya se encuentra ausente la fuerza que las obliga a moverse en patrones con significado o que las une en una matriz armónica y bien coordinada. El cadáver carece de percepción o voluntad aunque todavía posee una bioquímica estacionaria bastante sofisticada.”

Yo supongo que todos los lectores levantarán las cejas y emitirán alguna interjección más o menos altisonante ante esta perla de estulticia.

Desafortunadamente, más para mal que para bien, ésta es la esencia de la homeopatía clásica. Los escritos de Hahnemann y de sus principales seguidores no difieren esencialmente del discurso de Morrell. No obstante, hay que intentar ser justos y analizar la obra de Samuel Hahnemann en su tiempo y su entorno; no podemos culparlo de pensar que la diferencia entre la materia viva y la inerte es una fuerza vital “sin peso, sin sustancia, invisible e imponderable” si todavía ya entrado el siglo xx el filósofo francés Henri Bergson (premio Nobel de literatura en 1927) y su seguidor Gilles Deleuze argumentan a favor de la existencia de esta *élan vital* —de lo que Bertrand Russell hacía mofa diciendo que la *élan vital* explica tanto del fenómeno de la vida como la *élan locomotrice* lo hace del funcionamiento de una locomotora. Hoy en día, las personas educadas no aceptan como explicación de algún fenómeno natural la existencia de sustancias que no se puedan ver, medir, oler, sentir ni detectar o cuyas propiedades sean consecuencia de un cuerpo teórico comprobado. Por lo que cualquier explicación que se busque del fenómeno de la homeopatía no puede ir por este camino.

La homeopatía en diskette

En 1988 aparece en la prestigiosa revista británica *Nature* un artículo cuyo título no presagiaba la tormenta que iba a desatar. Efectivamente, “Human basophil degranulation triggered by very dilute antiserum against IgE” podría pasar por ser uno de tantos artículos de inmunología accesibles únicamente a los especialistas en el tema. Este reporte, firmado por trece científicos de los cuales, según los usos y costumbres de las publicaciones en biología, el último es el investigador principal, quien se vio envuelto en apasionadas discusiones, descalificaciones y debates sin fin.

Jacques Benveniste fue un inmunólogo francés, nacido en París, descendiente de una famosa y antigua familia judía de académicos e intelectuales con asiento en la histórica ciudad meridional de Narbona y cuyos orígenes se pueden rastrear hasta la edad media. El punto medular del artículo al que nos referimos es que este grupo de investigadores afirmaban que habían logrado activar la desgranulación (la liberación de sustancias)

de los leucocitos basófilos cuando los exponían a dosis extremadamente diluidas (homeopáticas) de anticuerpos. Los basófilos son células que responden a la presencia de agentes externos al organismo liberando una sustancia llamada histamina que, a su vez, produce cambios locales en el metabolismo de todas aquellas células que contienen los receptores adecuados; entre otras reacciones la histamina puede producir dilatación de los vasos sanguíneos y reacciones alérgicas.

Benveniste y su equipo interpretaron su resultado como la transmisión de información biológica pese a la ausencia de moléculas activas. En pocas palabras, el medio usado para la dilución homeopática podía provocar una reacción alérgica. No es difícil imaginar el revuelo que provocó este artículo. Benveniste y su equipo tuvieron una enorme cobertura mediática: “Un descubrimiento francés que podría trastornar los fundamentos de la física: la memoria del agua”, tituló su nota, con buena dosis de nacionalismo galo, el periódico *Le Monde* en su edición del 30 de junio de 1988. Aquellos homeópatas honestos y no satisfechos con la hipótesis del *élan vital* creyeron encontrar la explicación científica de su disciplina. Aquellos escépticos pero de buena fe, estuvieron dispuestos a conceder el beneficio de la duda. Sin embargo, el grueso del *establishment* científico se escandalizó ante algunas afirmaciones un poquito exageradas del propio Benveniste, tales como: “es como si usted sumergiera las llaves de su carro en el río Sena en París y luego descubre que si toma una muestra de agua en la desembocadura ⁶⁴ ¡ésta tiene la información suficiente para echar a andar su carro!”.

Después de que varios laboratorios independientes no pudieron reproducir los resultados, la agitación llegó a tal grado que sir John Ryden Maddox, el editor en jefe de *Nature* y con entrenamiento formal en química, tuvo que pedir que el equipo de Benveniste repitiera el experimento en presencia del mismo Maddox y de un equipo convocado y encabezado por él. El equipo constaba de expertos en desenmascarar fraudes científicos. Los resultados fueron negativos; no hubo memoria en el agua. Intentos subsecuentes de reproducir el experimento en laboratorios independientes también fallaron. La revista *Nature* retiró el artículo de sus archivos (ya no se puede encontrar en las bases de datos de la publicación

⁶⁴unos 400 kilómetros

en el internet) y aunque Benveniste nunca se retractó, su prestigio sufrió un daño irreparable. Él había sido un buen investigador médico que alcanzó notoriedad por el descubrimiento de un factor de activación de las plaquetas en la sangre y llegó a la dirección de una unidad de investigación del Instituto Nacional de la Salud y de la Investigación Médica de Francia, institución que se vio forzado a abandonar a consecuencia del escándalo. Falleció en 2004 de una afección cardíaca.

Uno de los integrantes del comité revisor convocado por Maddox, fue James Randi, un excéntrico millonario canadiense que en su juventud trabajó como escapista e ilusionista y ya en su edad madura se dedica a desenmascarar casos de fenómenos paranormales o de pseudociencia. Es uno de los editores de la revista *The Skeptical Inquirer*. Después del *affaire* Benveniste, Randi ofreció un premio de un millón de dólares a quién pudiese demostrar la acción fisiológica de diluciones ultramoleculares. El reto fue recogido por Madeleine Ennis, profesora de la Queen's University de Belfast en el 2001 y se montó cuidadosamente un experimento que fue supervisado por la Royal Society de la Gran Bretaña, a través de su vicepresidente sir John Enderby, físico de profesión, y filmado paso a paso por la BBC. El experimento fue asistido por un equipo de médicos, expertos en estadística y el mismo Benveniste. Los resultados, de nuevo fueron negativos.

La puntilla al esfuerzo de Benveniste y sus seguidores de demostrar que el agua posee memoria, lo que a la larga sería la explicación racional de la homeopatía, la dio un estudio patrocinado por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de los Estados Unidos de América. El reporte final: "Can specific biological signals be digitized?" fue publicado recientemente en la muy prestigiada revista *The FASEB Journal*⁶⁵. El estudio contó con la participación de un impresionante equipo multidisciplinario que incluyó a Jacques Benveniste, quien no vivió lo suficiente para llegar a la conclusión negativa de la investigación.

Hasta donde llega la ciencia moderna, la cuestión de la memoria del agua está completamente desechada. Así pues, la situación hoy en día (este ensayo se terminó de escribir en octubre del 2006) es contundente: No existe mecanismo físico conocido que pueda explicar la acción de la

⁶⁵2006; 20: 23-28

homeopatía.

Sin embargo, bien pudiera suceder que ese mecanismo exista y que simplemente la ciencia contemporánea no haya sido capaz de detectarlo. Si se concede el beneficio de la duda a la homeopatía y aceptamos la premisa de que ese mecanismo existe y aceptamos asimismo nuestra incapacidad actual para explicarlo, para develarlo se puede todavía recurrir a un método muy empleado por los médicos para los casos en los que se requiere probar la acción o falta de acción de algún medicamento: me refiero a los estudios clínicos. Son técnicas diseñadas para establecer una relación de causalidad entre la administración de un fármaco y sus consecuentes efectos cuando se desconoce con precisión la acción fisiológica de ellos o bien su actividad química o molecular. Uno de los protocolos más aceptados es el estudio aleatorio controlado, doble ciego y con control de placebo (del latín “complacer”). De manera muy sucinta, en estos estudios se elige una muestra de pacientes, a cada uno de ellos se le administra de manera aleatoria ya sea el medicamento que se prueba o un placebo. Ni los pacientes ni los investigadores saben cómo se hace la asignación (por eso se llama “doble-cego”).

Es necesario aclarar que este tipo de estudios normalmente se realizan para que algún fármaco nuevo consiga aprobación para ser comercializado. Esto quiere decir que esa nueva droga ya pasó por toda una serie de pasos experimentales previos, incluyendo posiblemente su prueba en animales de laboratorio, y que desde su diseño ya se sabe o se tiene sospecha fundada de para qué sirve. El estudio clínico sirve para dar una medida estadística de su eficiencia y de los posibles efectos secundarios.

En el caso de la homeopatía los estudios clínicos tienen que ser particularmente cuidadosos pues ya sabemos que no hay mecanismos de interacción molecular involucrados y que no se puede deducir su eficiencia de leyes conocidas o de principios aceptados. Por lo mismo, los estudios clínicos lo más que pueden hacer es comparar cuantitativamente, mediante métodos estadísticos, la respuesta de los pacientes que toman el remedio homeopático comparada con la de los que reciben un placebo.

La cantidad de estudios clínicos que se han hecho para indagar si la homeopatía logra un nivel de curación por encima de lo que obtiene un placebo es enorme. Una investigación superficial en alguna base de datos (yo usé el *PubMed*) arroja cientos de artículos que reportan los resulta-

dos más encontrados y contradictorios. Afortunadamente, dentro de ese maremagnum existe un buen número de artículos de revisión. Recurrí a varios, y en particular a uno que me pareció que destacaba por su seriedad y profundidad⁶⁶ y cuyo autor, E. Ernst de la Universidad de Exeter, es un profesionalista reconocido. Las conclusiones de esta revisión ya no dejan lugar para dudas: la homeopatía no consigue efectos distinguibles del efecto placebo. En pocas palabras, la homeopatía no tiene efecto alguno sobre el organismo más allá de la sugestión y, para todo fin terapéutico, es igual de eficaz que rezar un rosario.

Primum non nocere

Esta frase en latín, a menudo atribuida erróneamente a Hipócrates, es la máxima fundamental de la medicina y se enseña a todo estudiante a lo largo de su carrera: “primero, no dañar”. La mayoría de la gente que yo conozco opina que puesto que la homeopatía no hace daño, más allá de la posible autosugestión, se debería permitir que quien quiera recurra a esa práctica pues, después de todo, aunque el efecto placebo siga siendo un misterio para la ciencia ¿qué importa qué sea lo que haga que el paciente se sienta mejor mientras efectivamente se sienta mejor? Es difícil estar en contra de esta posición y diga lo que yo diga aquí y en otros foros, los grupos vulnerables o desesperados seguirá recurriendo a la homeopatía (un estudio italiano muestra que el perfil del cliente típico de la homeopatía es una mujer adulta en sus cuarentas). Sin embargo, quiero llamar la atención sobre cuatro aspectos poco discutidos cuando se habla de homeopatía.

1. Una práctica viciosa muy frecuente en la literatura científica es que los equipos de investigación, como regla general, únicamente reportan resultados positivos. Es muy difícil, casi imposible, encontrar un artículo que diga: “después de llevar a cabo cuidadosamente el protocolo experimental diseñado, los resultados fueron contrarios a lo esperado”. Aunque los resultados negativos tienen valor científico en sí, el investigador que los publique (si es que se los publican) se

⁶⁶Ernst, E. 2002. A systematic review of systematic reviews of homeopathy. *Br J Clin Pharmacol.* 54: 577-82.

suicida profesionalmente. Esta actitud desgraciadamente es la regla y es muy importante para el tema que nos ocupa pues en todos los reportes que consulté acerca de los supuestos efectos benéficos de la homeopatía ninguno tomó en cuenta el efecto placebo negativo. Este efecto, a veces llamado “respuesta nocebo” se refiere a que un paciente que recibe una sustancia inerte también puede sentirse mal por pura autosugestión. En resumidas cuentas, los artículos que estudian la supuesta eficacia de la homeopatía, no sólo no logran niveles distinguibles del efecto placebo sino que nunca reportan efectos negativos, aunque éstos sean por autosugestión.

2. Aunque ingerir una bolita de azúcar no daña, el hacerlo en lugar de un medicamento con eficacia probada en un caso grave sí que lo hace. En esta situación, el daño que se le provoca al paciente es por omisión; bien pudiera ser que alguien tenga un cuadro sintomático común —un dolor de cabeza— que pudiera ocultar un problema grave —un embolismo. En ese caso acudir a la medicina homeopática puede representar una pérdida de tiempo fatal para el paciente.
3. La industria homeopática ya se apartó por completo de la filosofía hahnemania original y ya no es éticamente superior a la industria farmacéutica alopática. Antes de escribir este ensayo, visité algunas farmacias homeopáticas y me llevé una tremenda sorpresa: Se vende árnica en preparación homeopática para la curación de inflamaciones y hematomas ¡cuándo esa planta macerada o en infusión se usa exactamente para lo mismo!. Es imposible, según la teoría homeopática que la misma planta tenga los mismo efectos en dosis homeopáticas que en preparación “macro”. Consecuentemente, a dosis homeopáticas el árnica debería de provocar inflamación y hematomas. También encontré valeriana contra el insomnio, cuando debería de ser lo contrario. Un último ejemplo es el caso de *Calcarea carbonica* que es recetada por lo homeópatas contra la acidez estomacal cuando su uso no homeopático es exactamente para lo mismo (es carbonato de calcio). El problema de fondo es el que se menciona en el comienzo de este artículo: la excesiva y poco ética comercialización de todo lo que tiene que ver con la salud no respeta principios ni tradiciones. Cuando lo único importante es la

ganancia, le pueden vender a uno cualquier cosa bajo una etiqueta de medicamento homeopático.

4. Cuando se llevan a cabo las “dinamizaciones” también entran en juego trazas de los compuestos de los que están fabricados los recipientes, tubos de ensaye, tapas, etcétera. ¿Cómo dilucidar el efecto del compuesto homeopático de las “dinamizaciones” de moléculas de óxidos de silicio del vidrio del frasco o de los compuestos orgánicos del corcho de la tapa y de todos los demás?

¿Qué hacer?

Como lo digo arriba, argumente lo que yo argumente, la gente seguirá recurriendo a la homeopatía y lo hará por razones parecidas a las que orillaron a Samuel Hahnemann a formular su teoría. La medicina en México —y en muchos lugares del mundo— en el siglo XXI es una actividad deshumanizada y sin valores. Si acude uno a los servicios públicos de salud, encontrará maltratos, regaños, groserías, mala atención, escasez de medicamentos o mercado negro de ellos. Si uno se cuenta entre el 5% de los “afortunados” que pueden acudir a los servicios privados, la mala atención viene enmascarada detrás de una sonrisa falsa y acompañada de una factura que quita la respiración. No es de extrañar que en esta situación la gente recurra a las medicinas alternativas. Sin embargo, eso no quiere decir que tales medicinas alternativas tengan alguna validez o sirvan para algo. De hecho, en su gran mayoría son un engaño y su finalidad es sacarle el dinero a la gente.

Es una verdadera lástima que la homeopatía no funcione pues las distorsiones de la medicina que provocaron su nacimiento son tan válidas hoy en día como lo fueron en el tiempo de Hahnemann. La gente la seguirá empleando, al igual que los medicamentos chatarra que se anuncian en la televisión, sin saber nada de su rica historia e ignorando que surgió como un rechazo a un sistema de salud ineficiente, elitista y deshumanizado. También es una lástima que la comercialización de la homeopatía ya la lleve por el camino de la chatarrización. Desgraciadamente, es difícil terminar este ensayo con una nota optimista pues mientras sigamos teniendo en México gobiernos nacionales que se desentienden de sus obli-

gaciones en salud y educación para favorecer a las instituciones privadas sobre las públicas, las multitudes cuya lucha cotidiana es la supervivencia, seguirán acudiendo al tipo de medicina que les pongan enfrente. Es triste que la gente desposeída sea acarreada por la propaganda televisiva al consumo de medicamentos fraudulentos que caen en, al menos, dos categorías: los “populares” que son los “similares” que se venden sin ningún control y cuya calidad, en el mejor de los casos, es dudosa y los medicamentos chatarra de costo elevado (como los de *Genomma Lab*) cuya venta constituye un crimen social pues al insulto del precio se le agrega la burla del engaño.

Colofón

Samuel Hahnemann falleció de bronquitis en París en 1843. El amor lo había llevado a radicar en la ciudad luz. Fue sepultado en el panteón de Montmartre y hubiera sido vecino de sepultura por la eternidad de Heinrich Heine y Théophile Gautier de no haber sido por una suscripción pública organizada en los Estados Unidos que reunió fondos para trasladarlo al más encumbrado cementerio del Père Lachaise. El destino, siempre juguetón y caprichoso, quiso que su tumba se encontrase muy próxima de la de Joseph Gay-Lussac y casi vecina de la de François-Vincent Raspail. El primero, impulsor de la teoría molecular de la materia y, el segundo, un famoso revolucionario francés que destacó por su participación activa y militante del lado republicano en los sucesos del 48 en Francia. La imagen política de Raspail opacó sus logros profesionales como médico. Como tal, preconizó la higiene y el uso de antisépticos. Fue un adherente e impulsor de la teoría patogénica de las enfermedades que fue negada por Samuel Hahneman y sus seguidores.

ESTE artículo apareció en la revista *Ciencias* de enero-marzo del 2007. A partir de su publicación, recibí muchos mensajes de lectores de todo el país y un par de otros países de América Latina. Fue muy estimulante el hecho de que todos ellos se encontraban muy contentos y buena parte me felicitaron por haberles proporcionado información de un tema sobre el que ellos ya habían reflexionado pero no encontraban la manera de articular el resultado de sus cavilaciones.

Dejo para el final la presentación de un caso y que cada quién saque sus conclusiones: el árbol *Strychnos nux-vomica* produce un alcaloide que tiene efectos intensos sobre el metabolismo humano: 3.2mg de estriknina se usan como un remedio para favorecer el peristaltismo en casos severos de constipación mientras que 32mg provocan la muerte por asfixia causada por violentas contracciones musculares. ¿Qué efecto producirá a nivel homeopático? Este es un remedio homeopático que, bajo el nombre de *Nux vomica*, tiene amplio uso comercial (\$198.00 m.n. el frasco) y se prescribe, entre otras cosas⁶⁷ contra la constipación, la náusea de la preñez, prurito de las hemorroides, vértigo, ataques de estornudos, insomnio, vómito ácido y dolores de cabeza provocados por la resaca alcohólica.

⁶⁷<http://www.elixirs.com/nux.cfm>, consultado en mayo del 2010



San Andrés

Nuestro propio estudio de la forma orgánica que, como Goethe, llamaremos *morfología*, es sólo un pedazo de aquella otra, más extensa, *ciencia de la forma*, encargada de estudiar las configuraciones adoptadas por la materia en todos los aspectos y condiciones; esto es, en un sentido todavía más amplio, de las que son *teóricamente imaginables* ⁶⁸.

D'Arcy Wentworth Thompson.

DESCENDIENTE de marinos escandinavos establecidos en las islas británicas en tiempos inmemoriales y que trocaron sus temibles *drakars*⁶⁹ por los barcos mercantes amparados por la Cruz de San Andrés del emblema nacional de los escotos, D'Arcy Wentworth Thompson nació en Edimburgo, capital de Escocia, en 1860 y terminó su fecunda y larga vida en 1948 en Saint Andrews, en el extremo noreste de la bahía de su ciudad natal.

Todavía en abril de 1821 el abuelo de nuestro biografiado era patrón y capitán de un buque mercante —a la vez casa y hogar de su familia— en donde la señora Thompson dio a luz al padre de D'Arcy. Buenos augurios llegaron a la par del recién nacido: según la bitácora de viaje, el tiempo se había despejado luego de sortear una tormenta al doblar el Cabo de Buena Esperanza y virar el rumbo a Calcuta.

En *Science and the Classics*, nuestro Thompson pregunta⁷⁰: “¿Cómo fue que ese pequeño marinero (su padre), cuyos ancestros siempre habían sido navegantes, se convirtió en un profesor de griego?” En la alocución dirigida a la *Classical Association at Cardiff* el 9 de abril de 1929, D'Arcy rememora el centenario del nacimiento de su padre (cuyo nombre también era D'Arcy Wentworth Thompson) y manifiesta su gratitud filial pues la educación de aquel tripulante nacido a bordo del buque de su abuelo, tan

⁶⁸D'Arcy Thompson, *Science and the Classics* (Oxford University Press, Oxford, 1940), p. 1-36. Los subrayados son míos

⁶⁹Naves vikingas de guerra, “dragones” en islandés.

⁷⁰*Ibid*, p. 1.

lejana de las artes de marear, permitió a D'Arcy hijo adquirir una esmerada educación humanista; dominar el griego y el latín desde muy joven y leer en sus originales a los clásicos de la Antigüedad. La espléndida formación y práctica naturalista y el dominio de la matemática de su tiempo, lo hicieron un personaje único en el mundo académico de su época y de todos los tiempos: un científico capaz de transitar sin tropiezos entre la filosofía, las letras, la matemática, el arte y la zoología.

D'Arcy padre se formó en Cambridge; fue director de estudios clásicos de la Academia de Edimburgo y, luego, profesor de griego en Irlanda. En 1859 se casó con Fanny Gamgee quién falleció a poco de dar a luz al único hijo de la pareja. Thompson padre escribió entonces refiriéndose a sí mismo en tercera persona⁷¹:

Y alguna vez, lector, hace mucho, mucho tiempo, conocí a un maestro de escuela; y este maestro tenía una esposa. Y ella era joven, bella y culta; como la princesa y alumna del viejo Ascham; hermosa y culta como la hermana de Sydney o la madre de Pembroke. Y su voz era siempre suave, amable y queda, lector: algo que resulta excelente en una mujer. Y sus dedos eran hábiles con las agujas de coser y diestros en todas las artes de un ama de casa. Y podía extraer música dulce del teclado de marfil; y música más dulce y extraña de la gris vida de su esposo, el maestro de escuela. Y su corazón tardaba en reconocer la malicia, pero sus pies corrían veloces para hacer el bien. Y era sencilla, con la sencillez de una niña; y sabia, con la sabiduría que sólo proviene del Señor y sólo les es dada a los hijos del Reino. Y su dulce y joven vida era como un himno matutino, cantado por voces infantiles acompañadas por música de órgano.

El tiempo le dará a la Muerte un nuevo dardo, antes de que la Muerte haya sometido a su violencia asesina a otro. Pues ella murió, lector, hace mucho, mucho tiempo. Y yo estuve una vez junto a su tumba; su tumba verde, no muy lejos de nuestro querido Dunedin. Murió, lector. Todos la consideraban

⁷¹Thompson, D'Arcy Wentworth. 1912: *Day Dreams of a Schoolmaster*. Londres. Harrap.

tan hermosa, joven, culta, sencilla y buena. Y me han contado que su muerte significó mucho para ese maestro de escuela.

Cuando Thompson padre, el profesor de letras clásicas, trabajaba en el *Queen's College* de Galway, en la costa occidental de Irlanda, el pequeño D'Arcy iba desde Escocia a visitarlo con frecuencia pues había quedado al cuidado de Joseph Gamgee, su abuelo materno, un médico veterinario, en Edimburgo. De su progenitor hereda el amor a las humanidades; del abuelo materno, el amor a la naturaleza: es decir, por la Ciencia.

Thompson, el zoólogo–matemático deja constancia de su pasión por ambas

¡La Ciencia, los clásicos! Con sabiduría, la primera nos dice: “quien se alimente de mí no podrá saciarse y se quedará con hambre”; los clásicos, a su vez, claman: “quienes abreen de nuestra fuente, seguirán sedientos y no les bastará lo que beban”. Ambos acrecientan de igual manera nuestro deseo de conocimiento y multiplican las posibilidades de asomarnos a la felicidad.

D'Arcy se educó en la misma Academia de Edimburgo en donde su padre había iniciado su vida magisterial; en su último año ahí, obtuvo los máximos honores en letras clásicas, interpretación del texto griego del Evangelio, matemática y lenguas modernas. Ingresó entonces a la Universidad de la misma capital escocesa, cursó tres años de medicina y, sin concluirla, se matriculó en la Universidad de Cambridge para estudiar y obtener el grado de *Bachelor in Arts* en zoología.

En 1884, después de un breve lapso como ayudante de laboratorio en Cambridge, Thompson deja Inglaterra al obtener una plaza de profesor de zoología en el *University College* de Dundee, incorporado a la Universidad de Saint Andrews trece años más tarde y en la cual, a partir de 1917 y hasta su muerte, a los 88 años de edad, tuvo a su cargo ininterrumpidamente la cátedra de historia natural.

En la nota necrológica de Clifford Dobell (1886–1949), publicada en el *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society of London*, apenas un mes

antes del deceso del propio Dobell⁷², éste dedica a su “más antiguo y mejor amigo” con las siguientes palabras: *Fratri carissimo D’Arcy Wentworth Thompson Scoto haec acta mortui batavi D.D.D. Editor Anglus animalculum Elephanti* y describe los honores que recibió D’Arcy en vida:

Sir D’Arcy Wentworth Thompson, Kt. (created 1937), C.B.; M.A., Litt.D. (Cantab.); D.C.L. (Oxon.); Hon. D.Sc (Dublin, Witwaterstrand, Delhi); L.L.D. (Aberdeen, Edinburgh). F.R.S. (1916:Vice-president 1931–1933: Darwin Medallist 1946). President, Roy. Soc. Edinburg (1934–1939). President, Classical Association, 1929; Scottish Class. Assoc. 1935. Member of many other learned societies in Britain and overseas (France, Poland, Russia, U.S.A., etc.). Scientific Adviser, Fishery Board for Scotland (1898–1939). Biologist, classical scholar, mathematician, and man of letters.

De entre la maraña de abreviaturas destaca que D’Arcy fue Caballero de la Reina (‘Kt.’), Doctorado por las universidades de Cambridge (‘cantabrigiensis’), Oxford (‘oxoniensis’) y Aberdeen, con títulos *honoris causa* en Irlanda, Sudáfrica y la India. Miembro de la *Royal Society* y “muchas otras asociaciones de estudiosos en la Gran Bretaña y ultramar”. Pero sin duda, el máximo homenaje que le confiere es el de llamarlo “matemático y hombre de letras”.

Es difícil encontrar en la historia de la ciencia en los siglos XIX y XX, a un personaje más culto y reconocido que D’Arcy Wentworth Thompson. Empero, la originalidad de sus contribuciones al estudio del crecimiento y la forma, su visión dinámica de la morfogénesis, su espíritu de físico aplicado al estudio de los organismos y su propuesta de matematizar para, siguiendo a Leonardo da Vinci⁷³, hacer de la biología una “verdadera ciencia”, escasamente tuvieron seguidores entre los biólogos de la segunda mitad del siglo pasado.

⁷²Biólogo británico, notable por sus contribuciones al estudio de los protozoarios intestinales del ser humano y la historia del ciclo vital de la *Endameba histolytica* en condiciones de cultivo, fue autor de una biografía del inventor del microscopio Antoni van Leewenhoek

⁷³“Nessuna humana investigazione si può dimandare vera scienza s’essa non passa per le matematiche dimostrazione”

No obstante, la corriente hegemónica en biología, la de la síntesis del seleccionismo darwiniano y la genética mendeliana, nacida en la Conferencia de Princeton de 1947, y dominante aún hoy en amplios sectores de las ciencias de la vida, hizo a un lado la obra de este naturalista, polígrafo, biólogo–matemático y físico–biólogo (ambos, *avant la lettre*). Obra inmensa, generosa, elegante, sugestiva y, al cabo, incomprendida porque, tal vez, se adelantaba casi setenta años al nacimiento de una disciplina académica legítimamente llamada *biología teórica* en la que, desde principios generales y poderosos, fuese posible formalizar las leyes que, como en la física, den cuenta de lo que ocurre en la materia sin pasmarse ante la inmensa variabilidad y diversidad de la vida.

Obra

La formación académica y las influencias familiares de D'Arcy Wentworth Thompson le permitieron hacerse de una cultura universal en un sentido lato; no es exagerado decir que sus intereses fueron tan amplios como los de las grandes personalidades del Renacimiento o los científicos–humanistas de la Italia del *Quattrocento* —precursora y adelantada de la revolución científica del siglo xvi y las luces del xviii— como Leonardo da Vinci (1452–1519) o Galileo Galilei (1564–1642), cuando las limitaciones de la separación disciplinar no habían caído sobre el conocimiento, y la filosofía natural trataba de comprender, en general, el mundo de la materia en todas sus escalas y formas de organización: de la cosmología a la vida, y de ésta a la mecánica de las proporciones.

De su padre, D'Arcy recibió la pasión por la cultura clásica, el dominio del griego de la Antigüedad y del latín; así, leyó muy joven *Los Elementos* de Euclides y la obra de los anatomistas hipocráticos en su lengua original, tradujo directamente la *Historia animalium* de Aristóteles y contribuyó a elaborar un diccionario inglés del griego clásico con sus aportaciones de los nombres de las aves y los peces. Perdida en la oscuridad de los siglos, la forma en que los helenos llamaban a estos organismos, nombres inexistentes ya en la lengua de los griegos contemporáneos, los originales fueron rastreados amorosamente por D'Arcy en los vocablos usados hoy por los pescadores en ambas riberas del Adriático.

Poseedor de dos de los idiomas ancestrales de buena parte de las

lenguas vivas europeas, Thompson aprendió a expresarse con pulcritud y elegancia en alemán, francés e italiano y era capaz de hacerlo tanto verbalmente, en charlas y conferencias, como en los ensayos que publicó a lo largo de su vida en esos idiomas. Esto le facilitó acceder a las corrientes continentales del pensamiento biológico, olvidadas en la Gran Bretaña y el mundo anglosajón luego de la publicación de *El origen de las especies*.

Así, Thompson pudo leer a Goethe, a los pensadores de la *Naturphilosophie* —discípulos, seguidores y contribuyentes de la revolución científica del naturalista, poeta y filósofo de Weimar— y a los morfólogos racionalistas⁷⁴ mayormente ignorados en la historia de las ciencias de la vida y que no obstante deberían reconocerse, como lo hizo explícitamente el propio Darwin, como fuentes importantes para sostener las tesis de *El origen*.

Estudioso autodidacta de la física de su tiempo, conocedor del desarrollo creciente de las ecuaciones diferenciales como instrumento de representación de procesos dinámicos, D'Arcy reconoció en el “modo de pensar matemático” una herramienta indispensable para el estudio del crecimiento y la forma de los seres vivos; una forma de identificar sus limitaciones dinámicas con lo que, de una manera difícilmente comprensible para sus contemporáneos, sugería cauces relativamente estrechos para la evolución biológica, restringida a hacer lo que buenamente puede mientras se sujete a la constelación de leyes físicoquímicas que rigen el Universo entero.

De hecho, como se lee en el epígrafe de este capítulo, D'Arcy ve en la matemática la manera de encontrar principios generales característicos de “todas las configuraciones teóricamente imaginables” y esto abre la posibilidad de superar la pasión por los detalles de los naturalistas —cuya tradición permea hoy todavía en la enseñanza y la práctica de la investigación en biología— para, en su lugar, captar lo esencial en la forma, la estructura o el comportamiento de las cosas y descubrir cómo, por encima de los accidentes, hay formas y estructuras.

⁷⁴Sobre la influencia de los morfólogos racionalistas, maestros y creadores de la anatomía comparada, en la visión de D'Arcy Thompson, puede verse Miramontes P. y JL Gutiérrez Sánchez. 2002: “El problema de la generación de las formas vivas de Geoffroy Saint-Hilaire a D'Arcy Thompson” en *Clásicos de la biología matemática*. México, CICH-UNAM-Siglo XXI. p. 47–66, *passim*.

A lo largo de su vida, D'Arcy publicó más de trescientos ensayos, reportes y textos en campos tan distintos como sus propios intereses intelectuales, a la vez profundos e integradores. En el terreno del tema concerniente al libro que los amables lectores tienen en las manos, su *ópera magna* es el tratado *On Growth and Form*, texto cuya segunda edición⁷⁵ tiene una extensión de mil ciento dieciséis páginas absolutamente sin redundancia ni desperdicio y donde se compendian su trabajo de zoólogo —dotado con las mejores prendas de los naturalistas: dedicación, delicadeza, minuciosidad, empecinamiento, agudeza—; su filosofía de la Naturaleza y su propuesta epistemológica sobre interrogar en el lenguaje de la matemática, como quería Galileo, a la naturaleza para descifrar los jeroglíficos que podemos encontrar aquí y allá cuando se la estudia.

A propósito de la concepción de los organismos, y la metodología de D'Arcy Thompson, heterodoxas respecto a las comunes en la investigación biológica de su tiempo y del nuestro, Peter Medawar⁷⁶ escribió en 1958, luego de reconocer en D'Arcy al primer anatomista “completamente moderno” porque su reconocimiento de estructuras iba de la dimensión de lo molecular a la de lo directamente visible, y su pensamiento transita sin dificultad entre la docena de órdenes de magnitud que hay entre ambas:

Éste es el momento de explicar la “filosofía” personal de D'Arcy sobre los seres vivientes: él creía (a) que las leyes de las ciencias físicas se aplican a los organismos y (b) que éstos no hacen cosa alguna que contravenga aquellas leyes.

Y aclara, para distinguir la posición thompsoniana de la tendencia a suponer que esto implica separar en componentes últimas para reducir el

⁷⁵La primera se publicó en 1917 y constaba, aproximadamente, de ochocientas páginas. Corregida y aumentada, la segunda edición es de 1942; el autor se refiere a las fechas de ambas publicaciones en la “Nota introductoria”: ‘Escribí este libro en tiempo de guerra y su revisión me ha mantenido ocupado durante otra guerra. Me dio solaz y empleo cuando la posibilidad del servicio militar me había dejado atrás debido a mi edad’

⁷⁶Peter Brian Medawar (1915–1987), zólogo e inmunólogo educado en Oxford, nació en Río de Janeiro, de madre británica y padre libanés; compartió con Frank Macfarlane Burnet en 1960 el Premio Nobel de Medicina o Fisiología por su descubrimiento de la tolerancia inmunológica adquirida.

problema al estudio físico-químico de las partes:

Algunas veces, estas proposiciones son tomadas como si se quisiera decir que la biología es o pronto será nada más que una super física-y-química. En realidad, no se trata en absoluto de proponer tal cosa. La biología tiene que ver con nociones que le son contextualmente peculiares: la herencia, el desarrollo, la sexualidad; la acción refleja, la memoria, el aprendizaje; la resistencia a las enfermedades y las propias enfermedades. Estas cosas son tan parte de la física y la química como podrían serlo la tasa de interés del Banco Central o la Constitución del Reino Unido.

Con una visión de lo que hoy llamamos *teoría de los sistemas complejos*, en la que se trata de andar el camino de las partes a sus maneras de interactuar para dar lugar a propiedades que no están en los elementos componentes, Medawar advierte:

Equivocamos la dirección del flujo del pensamiento [thompsoniano] cuando [suponemos que él trata de] “analizar” o “reducir” un fenómeno biológico a física y química. Nuestro empeño es hacer exactamente lo contrario: ensamblar, integrar o unir nuestra concepción del fenómeno desde nuestro conocimiento particular de sus componentes. Esto es lo que D’Arcy creía y es, también, lo que cree hoy casi cualquier biólogo moderno confiable: que este acto de integración es, de hecho, posible.

El texto de Medawar no es de manera alguna complaciente. Por ejemplo, sostiene que del “equipo” formado por el matemático, el físico y el biólogo que escribió esa obra, el más débil era el último y hace una crítica severa del capítulo II de *On Growth and Form*, titulado “La tasa de crecimiento” en donde dice:

D’Arcy debe ser absuelto del cargo de buscar la simplicidad a todo trance y sin razón. Sin embargo, la acusación de

⁷⁶Confróntese, op. cit., p. 34.

que el biólogo que había en él era extrañamente incapaz de percibir⁷⁷ [lo que era obvio para los otros biólogos], no es tan fácil de ser desechada. Aquí hay un ejemplo... en el cual hasta un lego sería capaz de ver una cierta perversidad en el razonamiento...

Y Medawar sostiene que la propuesta de Thompson se aparta de la

... *norma*⁷⁸ del crecimiento biológico —del patrón respecto al cual todos los casos reales de crecimiento *deben*⁷⁹ referirse— el crecimiento [semejante al] del interés compuesto, llamado algunas veces crecimiento logarítmico o exponencial.

Y, luego de una especiosa argumentación en la que recurre a la autoridad de un anatomista bostoniano de principios del siglo xx, Charles Minot, y a la del famoso naturalista británico J. S. Huxley respecto al crecimiento diferencial, asegura que:

... D'Arcy prefirió tratar el crecimiento con la curva de crecimiento del "interés simple", cuya primera derivada es la tasa de crecimiento y su segunda derivada, la aceleración de la tasa de crecimiento⁸⁰. Este tratamiento no sólo le ocultó muchas cosas que eran importantes sino que lo condujo a darle importancia a cosas que no tenían mucho peso. Por ejemplo, la edad a la cual la tasa de crecimiento aritmética es máxima, vista como el punto de inflexión de la curva integral de crecimiento.

Desde luego, Medawar no había entendido el significado dinámico de las ecuaciones de crecimiento orgánico de D'Arcy, ni la importancia del principio de alometría thompsoniano, que establece una ley morfométrica elegante y precisa, imposible de conjeturarse a partir de la "*norma* del crecimiento biológico" defendida por Medawar.

⁷⁷*Strangely unperceptive* en el original.

⁷⁸Subrayado en el original.

⁷⁹Ahora, las cursivas son nuestras

⁸⁰Aquí el que se equivoca es Medawar. La derivada de la tasa de crecimiento no es la aceleración de la tasa de crecimiento sino su velocidad de cambio

Es claro que el eminente inmunólogo de Oxford tampoco comprende por qué Thompson recurre a ecuaciones diferenciales autónomas con factores limitantes, planteadas a partir de una observación obvia sobre la aceleración de la tasa de crecimiento: su cambio con el tiempo, su valor positivo para muchas variables morfométricas (la masa corporal, por ejemplo) en los estadios iniciales de la vida de los organismos y su cambio de signo, precisamente en el punto de inflexión de la curva integral (lo cual muestra, además “perversidad en el razonamiento”), que implica un valor máximo al que se aproximarán asintóticamente tales variables.

Insistir en que la representación del crecimiento orgánico *debe* ser exponencial, i.e. no acotada en el tiempo, cuando lo que es verdaderamente más frecuente es el crecimiento limitado, y hacerlo con argumentos de autoridad, es un ejemplo de la reacción de muchos biólogos a la intromisión de los métodos de la física–matemática propuesta por D’Arcy Thompson que, aunque puedan sugerir soluciones más adecuadas a los problemas que se presentan, son rechazadas porque ya antes se había establecido una regla inapelable. En este sentido, esos biólogos se parecen mucho a los peripatéticos de fines del siglo xvi y principios del xvii, defensores a ultranza de las opiniones de Aristóteles, que se negaban a ver las lunas de Júpiter mediante el telescopio de Galileo por no caer en la tentación de negar lo establecido por la autoridad de El Estagirita.

Empero, así como Medawar señala los que son, a su juicio, errores graves del ensayo, también refuta a quienes critican la supuesta tendencia de D’Arcy a simplificar:

D’Arcy Thompson fue acusado algunas veces de pensar demasiado como geómetra por su determinación de ver regularidad simple ahí donde otra persona de pensamiento riguroso pero estrecho diría que tal regularidad no existe: las esferas que veía no eran completamente esféricas; los polígonos, no eran regulares; las transformaciones, insuficientemente ortogonales; que la trabícula ósea⁸¹ es una representación inadecuada de los pares de fuerzas de tensión y extensión en los huesos. Se trata de una historia vieja y manida; y, al hallarla

⁸¹Resultante de la osificación intramembranosa, consistente en pequeñas trabes o vigas de colágeno que se intercalan para darle fuerza o rigidez a los huesos.

en este nuevo contexto, creo que los críticos de D'Arcy estaban completamente equivocados.

La autoridad de Medawar está fuera de toda duda. Por eso, es notable destacar la reflexión que en su ensayo —incluido originalmente como *postscript* de la biografía que publicó Ruth D'Arcy Thompson⁸² diez años después de la muerte de su padre— hace el inmunólogo británico-libanés, sobre cómo el reconocer patrones, pautas y regularidades es una tarea primordial del quehacer científico⁸³:

Quizá en vida, D'Arcy haya sido mejor conocido por ser asesor de la oficina de pesquerías de Escocia y en esa calidad haber sido comisionado para viajar al estrecho de Bering y a las islas Pribilof a estudiar la dinámica poblacional y la explotación comercial de las focas. Como resultado de este viaje publica el libro *Mission to the Behring Sea* en 1896. Aunque con la frialdad que se espera de un reporte científico, lleno de tablas de datos y estadísticas, D'Arcy no puede evitar el empleo de una prosa refinada y nítida cuando se refiere a la matazón de cachorros de foca (que es idéntica a la que nos horroriza ahora en la televisión):

El grupo de exterminio estaba formado por diecinueve hombres, tres de los cuales llevaban garrotes de madera de metro y medio de largo. Las focas eran retenidas a unos cuantos cientos de metros de la costa, y se les dejaba avanzar en grupos o manadas hacia el campo de exterminio entre el grupo principal y el mar. El capitán Webster, garrote en mano, señalaba a sus hombres las focas de cada manada que debían ser exterminadas.

Ahora, damos un giro radical y pedimos a los lectores que comparen este fragmento con las siguientes dos citas. Primero, un extracto del artículo *Excess and Defect; or the little more and the little less*.⁸⁴

⁸²Ruth Thompson, 1958. "D'Arcy W. Thompson". Oxford

⁸³Si aceptamos que la matemática es la disciplina lógico-formal que los seres humanos hemos desarrollado para reconocer "patrones, pautas y arquetipos", esta reflexión coincide plenamente con la necesidad, propuesta por Thompson desde las primeras páginas de *On Growth and Form* de matematizar las ciencias de la vida

⁸⁴D'Arcy Wentworth Thompson. *Mind*, New Series, Vol. 38, No. 149 (Jan., 1929), pp. 43-55

La raíz cúbica de 2 es otra historia. No podemos representarlo mediante una fracción continuada ni mediante una serie de números puestos uno al lado del otro o en diagonal. Estoy casi seguro de que la importancia peculiar y el aire de misterio relacionado con el problema délico surgió simplemente del hecho de que para la extracción de una raíz cúbica no se cuenta con los recursos aritméticos como los que se utilizan para extraer, de forma fácil y precisa, una raíz cuadrada.

Y por último (*ibidem*)

El término técnico “exceso o defecto” es a veces utilizado, en especial por Aristóteles, con un sentido que evidentemente no es el aritmético, aunque es probable que sea más o menos análogo. Un sólo ejemplo debe bastar. En el primer capítulo de *Historia Animalium*, Aristóteles nos dice que, dentro de los límites de un *genus*, como un ave o un pez, la diferencia entre una forma o especie tiene una naturaleza de “exceso o defecto”; que sus partes correspondientes difieren en cuanto a propiedad o accidente, o en cuanto al grado en el que están sujetos a tal o cual propiedad o accidente, o en número o en magnitud, en resumen, siempre, de alguna u otra manera, en la forma de exceso o defecto.

¿Qué clase de persona tiene la capacidad de escribir estos tres párrafos tan disímbolos? La respuesta, adivinamos, es D’Arcy Thompson. Parece increíble que un sólo individuo pueda desenvolverse en los terrenos del naturalismo, de la matemática y de la filosofía griega a la vez, pero ésa es la esencia de la personalidad de D’Arcy y, todo ello, en una de las mejores prosas de la lengua inglesa.

Aunque D’Arcy escribió más de 300 trabajos, entre libros y artículos, no cabe duda de que su reputación postrera descansa en *On Growth and Form*. En el millar de páginas de este libro el autor describe los mecanismos físicos y las bases matemáticas que dan lugar a la *Forma* de los seres vivos: desde las espirales en los diminutos foraminíferos, la filotaxia y los cuernos de antílopes y carneros o la forma de las conchas de los gasterópodos, entre otros muchos.

Su uso de las matemáticas para el estudio de los seres vivos no es, ni ha sido, compartido por sus colegas de ayer ni de hoy. Una rápida búsqueda en alguna base bibliográfica especializada arroja resultados desproporcionados para, por ejemplo, “interacciones de los genes”, que suena “bien” en el estilo habitual de la biología, por comparación con “dinámica de los genes” que tiene un ligero sabor matemático.

Sin embargo, la parte más revolucionaria, del *On Growth and Form* es su teoría de las transformaciones. Sucintamente, consiste en lo siguiente: se coloca el dibujo de algún organismo sobre un plano cartesiano y éste se distorsiona de acuerdo con la regla de asociación de una función continua del plano en el plano. En la figura 8 se muestra como ejemplo una transformación lineal del plano en el plano (de \mathbb{R}^2 en \mathbb{R}^2).

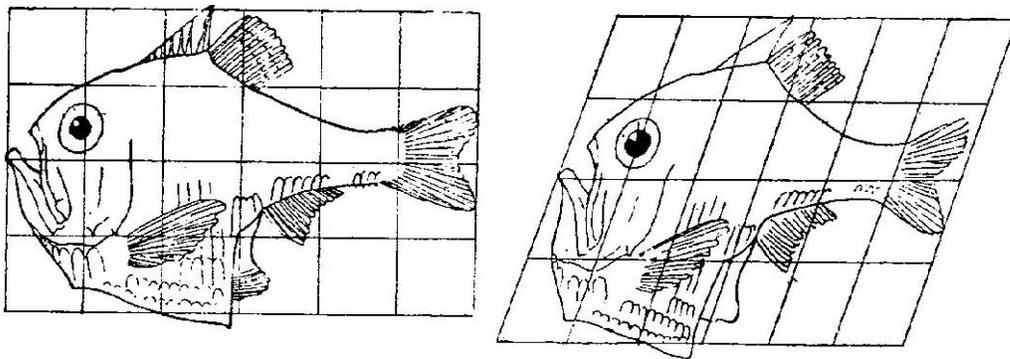


Figura 8: El pez *Argyropelecus olfersii* se transforma en *Sternoptyx diaphana*

La figura ofrece resultados espectaculares, pero hay que interpretarla con cuidado pues un ortodoxo de la teoría de la evolución pudiera alegar que no hay relación de descendencia filogenética entre estas especies y en esto tendría razón. Pero Thomson no pretende que la haya, simplemente establece que las diferentes estructuras del mundo vivo son variantes continuas de un plan arquitectónico (un *bauplan*)

Podemos llegar a un punto muy relevante: existen representantes de grupos de organismos que no es posible transformar en otros. Mientras que *Harpinia*, *Stegocephalus* e *Hyperia* forman parte de un conjunto de organismos que se pueden transformar entre ellos, no hay manera de trans-

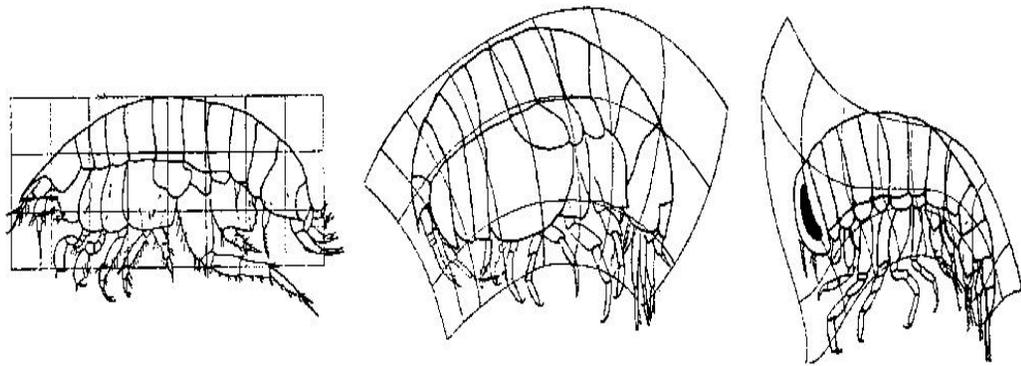


Figura 9: *Harpinia plumosa*, *Stegocephalus inflatus* e *Hyperia galba*

formarlos en, digamos, el copépodo *Sapphirina*.

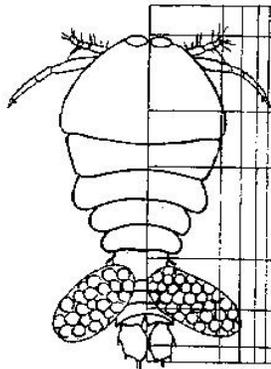


Figura 10: *Sapphirina*

Este hecho tiene mucha mayor relevancia de lo que parece a simple vista. La teoría de la evolución por selección natural se apoya fuertemente en dos postulados: que los organismos descienden con modificaciones de un ancestro común y, segundo, que las modificaciones morfológicas son continuas. A la luz de las transformaciones de Thompson, ambos postulados tienen que someterse a un escrutinio más cuidadoso. En primer lugar, o los organismos no tienen un único ancestro común, o bien, en la historia de la evolución se dieron cambios discontinuos en los pla-

nes esenciales de las formas vivas. Se vea como se vea, no hay manera de que los postulados darwinianos se puedan sostener simultáneamente pues son mutuamente excluyentes. En palabras de D'Arcy:

Nuestras analogías geométricas se contraponen con fuerza a la concepción de Darwin de pequeñas e infinitas variaciones continuas; éstas ayudan a demostrar que las variaciones discontinuas son algo natural, que las “mutaciones” (o cambios repentinos, de mayor o menor importancia) debieron haber ocurrido, y que nuevos tipos deben haber surgido de vez en cuando.

Thompson toma parte de la corriente “mutacionista”, junto con Hugo de Vries y Richard Goldschmidt, de la biología evolutiva no darwiniana. Es necesario aclarar que, para ellos, el término *mutación* no tenía la connotación moderna que lo refiere a un cambio “pequeño” —normalmente una mutación en un aminoácido o nucleótido— sino que era un cambio macroscópico a nivel de un organismo. Los tres han sido vilipendiados por el *establishment* de la evolución, pero es nuestra convicción que su papel y, sobretudo, la pertinencia de sus ideas debe rediscutirse.

No es ese el único punto que enfrenta a Thompson con Darwin. Mientras que D'Arcy tenía que ser por fuerza (de otro modo no hubiera sido consecuente consigo mismo) un transformacionista en lo que se refiere a la embriología, Charles Darwin era un preformacionista, hecho que ha inhibido durante al menos un siglo la fusión de la biología evolutiva con la de del desarrollo, la ahora conocida *evo-devo*.

Herencia

Pese a lo profundo de sus ideas y a lo sólido de su obra, D'Arcy Wentworth Thompson no se cuenta entre los biólogos británicos más conocidos, estimados o famosos. En pocas palabras, su lugar en el *ranking* de la biología es muy bajo. Hay algunas posibles explicaciones; podría ser que su personalidad, fuertemente estructuralista, haya sido hecha a un lado por la corriente inglesa, y mundial, de un funcionalismo a ratos acrítico. También puede ser que el gremio biológico lo desestime por buscar las

explicaciones de los fenómenos biológicos en la física y, peor, en la matemática traicionando, desde el punto de vista de la ortodoxia, la larga tradición de buscar soluciones autocontenidas (“lo biológico se explica por lo biológico”).

Podemos buscar las razones por las que D’Arcy ha sido relegado en relevancia, popularidad y fama, pero este hecho es innegable: una simple búsqueda en el *google* nos muestra que el número de entradas que tiene cae muy por debajo de las Alfred Russell Wallace, Julian Huxley, Thomas Huxley, John Maynard Smith, J.B.S. Haldane y, sin sorpresa de por medio, más de mil veces menos que Charles Darwin. La misma tendencia se puede comprobar analizando bases bibliográficas como el *PubMed* u otras.

El caso es que D’Arcy Thompson ha sido condenado al ostracismo, pero, como el hermano de Luis XIV, llegará el momento en que se le despoje de la máscara de hierro y recupere el honor que merece. Por el momento, es pertinente recordar la palabras de Ariel, el espíritu del aire, que bajo las órdenes del mago Próspero provoca las tempestades que le dan el nombre a la obra de Shakespeare y que canta a Fernando, hijo del rey de Nápoles:

Tu padre bajo la superficie del mar, a cinco brazas; de sus huesos está hecho el coral; aquéllos que fueran sus ojos son perlas ahora: nada de él se desvanecerá sino que sufrirá un cambio marino y se convertirá en algo brillante y extraño...

Nunca imaginó el bardo de Stratford que, siglos después, estos versos constituirían el mejor elogio a D’Arcy Thompson, pues ¿qué mejor fortuna para aquél que yace olvidado en el fondo del mar que sus restos se transformen en joyas valiosas y, mejor aún, que su recuerdo tenga el mismo poder y valor que lo rico y misterioso que espontáneamente se aparta de lo mediocre?

ESTE ensayo fue escrito por encargo de Faustino Sánchez y José Luis Gutiérrez para un apéndice de su libro “Matemática del crecimiento orgánico I: De la ley de alometría al crecimiento estacional”. Amablemente me han permitido incluirlo en el presente volumen.

Dado que el presente libro verá la luz en el 2010, me parece especialmente importante que se diga algo de D’Arcy Thompson puesto que este año hubiera cumplido ciento cincuenta. Es triste que este aniversario pase desapercibido ya no digamos en los medios de comunicación o entre la población en general, sino también entre los académicos dedicados a las ciencias de la vida en todas sus manifestaciones.



Mitos

El buen cristiano deberá tener cuidado de los matemáticos y de todos los falsos profetas. El peligro radica en que los matemáticos tienen un convenio con el diablo para oscurecer el espíritu y confinar al ser humano a las llamas del infierno.

Agustín de Hipona (354–430)

Razón y mito, Ciencia y fe

UN piloto de avión besa su escapulario antes de iniciar un vuelo. Un ingeniero no sale a trabajar sin haber leído su horóscopo a la hora del desayuno. Una maestra universitaria le da remedios homeopáticos a su hijo que tiene fiebre.

¿Qué pueden tener en común estas historias que involucran personajes tan diversos? Lo que tienen en común es que retratan un problema preocupante; el terreno que ha ganado en nuestra sociedad la superstición. El piloto maneja uno de los artefactos más deslumbrantes que ha producido la humanidad y que es el resultado del desarrollo científico y tecnológico y, sin embargo, confía su suerte a algo incierto y desconocido como lo son las supuestas fuerzas del reino celestial. El ingeniero cree que los astros tienen alguna influencia en nuestro devenir cotidiano pese a que está demostrado hasta el cansancio que no es así. Por último, nuestra profesora prefiere la fe como método curativo a los medicamentos que han tenido que pasar pruebas exhaustivas sobre su funcionamiento para poder ser puestos en venta.

Se puede argumentar que estos casos son intrascendentes pues ¿qué daño nos puede hacer que cualquiera de nuestros personajes tengan sus creencias y actúen conforme a ellas? Es verdad, pero es necesario comenzar a inquietarnos cuando nos enteramos que un presidente del país más poderoso del planeta, Ronald Reagan⁸⁵, con capacidad nuclear de borrar

⁸⁵Se dice, pero no he podido comprobarlo que tanto François Mitterrand como Indira Gandhi también recurrían a sus astrólogos. El Dalai Lama lo hace pero de los teócratas autoritarios no se espera nada mejor.

en segundos la vida de la faz de la Tierra, no tomaba ninguna decisión importante si no lo consultaba con su astrólogo. La lista de jefes de estado, ministros, agencias gubernamentales, cuerpos policiacos y militares que han usado y usan todavía los servicios de quirománticos, psíquicos, lectores de cartas, numerólogos y demás profesionales del engaño es escandalosa.

Sin embargo, el problema social más inquietante es que el grueso de la población se está volcando hacia esas “artes” que ahora, junto con cualquier cantidad de charlatanes, se anuncian masivamente en la televisión. Yo quisiera invitar a los lectores a reflexionar sobre los orígenes de esta alienación masiva que pone en riesgo a todo el tejido social.

La humanidad experimentó un cambio profundo después de lo que se ha dado en llamar “la caída del muro de Berlín”. Efectivamente, el mundo bipolar que hace un poco más de un par de décadas, vivía en un equilibrio delicado pero a la vez estable, dio lugar a un mundo con una única potencia dominante que ha impuesto a todos, por las buenas o por las malas, una globalización homogeneizante que es la aceptación, sin recurso de apelación, de los estándares y valores estadounidenses.

El desorden económico global hace recaer el bienestar de una minoría reducida sobre la mayoría pauperizada. En nuestro tercer mundo se encuentra muy concentrada esa mayoría excluida de los beneficios del desarrollo y de las condiciones, tanto materiales como intelectuales, que permiten una vida con un mínimo de dignidad. La desesperanza conduce a la pérdida de la fe en la posibilidad de un mundo mejor y la búsqueda de soluciones individualistas sobre el bien colectivo. Es así que, la gente elige entre la salida delictiva o se arroja en los brazos de las religiones, ya sean las tradicionales o las emergentes (es curiosa la conjunción de las dos alternativas —delito o religión— en la veneración reciente en México de la Santa Muerte o de Jesús Malverde, el patrono de los narcos). La privatización de los servicios de salud y el desmantelamiento de las instituciones públicas por la vía de la asfixia presupuestal obliga a la gente a recurrir a los medicamentos milagrosos que anuncia la televisión o a prácticas que en el mejor de los casos no hacen daño, como la homeopatía o la herbolaria vulgar (la que anuncia en la TV productos milagrosos), pero que en otros puede llegar a ser grave.

Lo mismo se puede decir de la educación. El Estado, o más bien el

Gobierno, se desentiende de sus obligaciones y por la vía de los hechos se privilegia la educación privada por encima de la pública, o se orilla a ésta a imponer estándares tan rigurosos en la admisión, permanencia o titulación como para hacer desertar a las mayorías. Por si este escenario no fuera lo suficientemente negro, hay que agregar que incluso dentro de las universidades se incuban movimientos sumamente retrógrados y antirracionales como lo son el postmodernismo y el relativismo cultural tan de moda en las ciencias sociales. Afortunadamente, nuestras escuelas y facultades de medicina aún resisten a la parafernalia de la medicina alternativa pero al leer la prensa se encuentran signos preocupantes pues hay universidades públicas que ya anuncian cursos de “espiritualidad y medicina”⁸⁶ o versiones renovadas de viejos esquemas ya desechados pero con nombres nuevos como la homotoxicología⁸⁷.

¿Que hacer frente a este panorama tan desolador? No podemos engañarnos y pretender que con mucha voluntad y tesón podremos enfrentar sistemas políticos sin escrúpulos o intereses económicos colosales. Para empeorar la situación, tampoco se le puede pedir a la gente que recupere la confianza en la ciencia cuando ella ha estado a menudo al servicio de los peores intereses y se ha prestado con una facilidad pasmosa a contribuir a los esfuerzos bélicos más deleznable.

La educación es el campo donde se forma el espíritu humano por lo que es el único lugar en que eventualmente podríamos incidir con propuestas constructivas. Tenemos que convencer a nuestros colegas o, para empezar, a nosotros mismos que el racionalismo, caracterizado por los grandes enciclopedistas franceses del siglo xvii es un patrimonio de la humanidad y ha sido nuestra única herramienta en contra de la superstición y oscurantismo. La Ciencia es un fruto de esa corriente de pensamiento y como cualquier producto humano, no es perfecta. Sin embargo, como instrumento para conocer y entender el universo es lo mejor que tenemos. Hay que rescatar el núcleo de la ciencia que aún no ha sido prostituido por los intereses dominantes. Ese núcleo es profundamente ético y humanista y consta, según el finado Carl Sagan, de dos ingredientes: el asombro y el escepticismo. El primero nos lleva a maravillarnos

⁸⁶Universidad Autónoma de Nuevo León, febrero del 2005

⁸⁷La Universidad de Sonora ofrecía, al menos del 2004 al 2006, un diplomado en *homotoxicología*

ante la fantástica belleza del universo y es la fuente de ideas novedosas y el segundo es el método crítico que diferencia a la Ciencia de otras actividades humanas: cualquier idea, hipótesis o propuesta tiene que pasar por el escrutinio de la comunidad entera.

Enseñar que la naturaleza es discernible y accesible al conocimiento humano y que los fenómenos de la naturaleza tienen explicación con base en leyes naturales en las cuales no hay lugar para creencias o mitos, es una tarea que hay que emprender desde la educación más temprana. De nuevo puede ser que nos gane la desesperanza cuando constatamos que el secretario de la Defensa de México entregó en mayo del 2004 datos de objetos voladores no identificados a Jaime Maussán⁸⁸, un conocido charlatán y embaucador, y no a los científicos de nuestros centros de investigación porque “no sabía que existían astrónomos”. Antes que dejarnos desanimar, este tipo de actitudes debería darnos la pauta para emprender pasos concretos: tenemos la obligación de denunciar desde la universidades, a los funcionarios ignorantes y tenemos asimismo la obligación de rediscutir el rumbo que han tomado nuestras instituciones públicas de educación superior.

México tiene un déficit grave en educación superior, sólo dos de cada cinco jóvenes de 18 a 24 años de edad tiene acceso a estudios universitarios y en las últimas dos décadas no se han creado nuevas universidades públicas (con excepción de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México). En parte, este nicho ha sido ocupado por las universidades privadas; para el 2006, las universidades privadas se encargan del 32 % de la población estudiantil y la cifra va en aumento, se estima que será del 50 % en diez años. Un problema asociado con esta paulatina privatización de la educación superior es que únicamente un puñado de universidades privadas reúnen los requisitos para ser llamadas “universidades” (las más caras) las demás son escuelas “patito” que defraudan con títulos y formación inservibles a los estudiantes de bajos recursos.

Las universidades públicas tienen que aumentar su matrícula. Nadie ha podido mostrar que la universidad de masas está reñida con la calidad académica. A fuerza de repeticiones, se nos pretende hacer creer que la educación de calidad tiene que ser elitista y para ello se han implemen-

⁸⁸La Jornada, 13 de mayo del 2004

tado programas, criminales desde el punto de vista social, de “eficiencia terminal”⁸⁹. Para la sociedad, es más útil un joven que curse dos años de una carrera que uno que ni siquiera consiga el ingreso, aumenta el nivel promedio de la sociedad y está mejor preparado para encarar los retos de la vida. Adicionalmente, él y sus cercanos estarán mejor preparados para encarar la ola de charlatanes que venden sus servicios y productos a fuerza de bombardeo informativo de los medios de comunicación masiva.

Este ensayo está siendo escrito en la primavera del 2006, justo cuando la Ciencia encara un gran reto por parte de los círculos creacionistas que niegan la evolución de las formas vivas en nuestro planeta. Aunque de viejo cuño, esta tendencia ahora infiltra círculos académicos bajo el nuevo nombre de “diseño inteligente de la vida”.

Diseño inteligente, medicina alternativa (iridología, homeopatía, aromaterapia, naturopatía, etcétera), parapsicología, numerología, piramidología, ocultismo, ovnilogía, dianética y decenas más de denominaciones mediante las cuales se infiltra el oscurantismo y la sinrazón deben de ser exhibidas ante la sociedad como el engaño que son. Solamente así seremos mejores como individuos y como sociedad.

Si los universitarios, académicos e intelectuales, dejamos pasar y crecer estas tendencias, dentro de poco recordaremos amargamente y en carne propia el reproche que hizo Aisha⁹⁰, la reina madre del reino moro de Granada, a su hijo Boabdil.

⁸⁹Que a A. Minzoni de la UNAM, y a muchos de nosotros, le suena igual que “solución final”, eufemismo que inventaron los nazis para nombrar al exterminio de los indeseables.

⁹⁰Dice la leyenda que el último rey moro de Granada, camino al exilio y presa del llanto, volvió la cabeza para mirar por última vez su ciudad y entonces su madre le espetó: “llora como mujer lo que no supiste defender como hombre”.

LAMENTO el tono tan negro y pesimista de este último capítulo. Nada me hubiera gustado más que terminar este libro con una nota feliz. Con todo, se puede pintarlo un poco de gris con tal de dirigirlo hacia la región de la blancura al repasar los esfuerzos que se hacen en algunos lugares del mundo para combatir el oscurantismo. Desde el reporte reciente (febrero del 2010) de la Cámara de los Comunes de la Gran Bretaña para cortar los fondos públicos a la atención médica homeopática, hasta los combates quijotescos de Richard Dawkins⁹¹ contra la mitología institucionalizada; es decir, la religión, pasando por la maravillosa y festejable broma de Alan Sokal⁹² que le dio justo por debajo de la línea de flotación al esnobismo postmoderno. Estos y muchos otros intentos están en clara desventaja pues los medios de educación y los gobiernos derechistas fomentan la ignorancia. Siempre hay que tener bajo la almohada al maestro Karl Marx y recordar que ni mandada a hacer para este escenario está su frase lapidaria: “No hay mitos, todo es ideología”. Esto ya levanta el ánimo.

Este ensayo fue escrito en el 2006 por encargo de la Universidad de Sonora pero nunca fue publicado. El editor, un colega y buen amigo, se deshacía en disculpas cada vez que me encontraba pues el tiempo pasaba y no aparecía publicado mi escrito. Yo le aseguraba que no debía preocuparse, que yo sabía que eventualmente se publicaría. Es posible, pero no puedo asegurarlo, que él estuviera bajo presiones para darle largas al asunto y por ello nunca quise insistir. De modo que éste es un inédito y le he encontrado un nicho al final de este libro.

⁹¹R. Dawkins, 2006. “The God Delusion”. Bantam Books.

⁹²A.D. Sokal, 1996. “Transgressing the Boundaries: Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity”. *Social Text*. 46/47, pp. 217–252 (spring/summer 1996).

