

PRESENTACIÓN

CAOS: UNA CIENCIA ÚTIL Y MULTIDISCIPLINAR

Los días 11 y 12 de Noviembre de 2009 se celebró en el Ilustre Colegio Oficial de Médicos de Madrid, dentro de la IX Semana de la Ciencia, el Encuentro *Aplicaciones de la Teoría del Caos en Medicina y Neurociencia*, dirigido por Fernando Fariñas y coordinado por Elena Aguirregoicoa, Carlos Madrid, José Luis Muñiz, Carlos Pelta y Manuel Varela, con la colaboración, entre otras entidades, de la Real Sociedad Española de Física, la Universidad Complutense de Madrid, el Ciemat y la Comunidad de Madrid. Con motivo de la Semana de la Ciencia 2009, un conjunto de médicos, físicos, matemáticos, psicólogos y filósofos de distintas Universidades y Hospitales organizamos este Encuentro donde se analizaron los aspectos técnicos, científicos y cognoscitivos más novedosos de la Teoría del Caos y de sus aplicaciones en el campo de la Biomedicina, la Electroencefalografía y la Neurociencia en general.

La Revista *Encuentros Multidisciplinares* acoge de nuevo un conjunto de investigaciones interdisciplinares a propósito de la Teoría del Caos y los Sistemas Complejos. Esta revista ya ha publicado varios números dedicados a tópicos relacionados con la Teoría del Caos, buscando siempre compaginar la perspectiva de las ciencias naturales y sociales con la propia de las humanidades. El interés pluridisciplinar por el Caos, así como por sus proyecciones físicas, biológicas, sociales y económicas, es una constante de su línea editorial y ha quedado plasmado en múltiples artículos (véanse los nº 1, 7, 11, 23 y 26, entre otros). Su Director, Jesús Lizcano, recibió y se sumó con entusiasmo a nuestra iniciativa relacionada con el Caos y la Medicina. Sin su colaboración, este monográfico que recoge nuestras intervenciones en las Jornadas y que tienes, lector, en tus manos no hubiera visto la luz.

Durante las dos jornadas de duración del Encuentro, celebrado en el Aula Gregorio Marañón del Colegio de Médicos de Madrid, prestigiosos especialistas en Dinámica No-Lineal presentaron los últimos avances en la aplicación de la Teoría del Caos a la Biomedicina y la Neurociencia, así como pusieron las bases para una futura colaboración multidisciplinar. En la presentación, el Director de las Jornadas, el Dr. Fernando Fariñas, Facultativo Especialista en Neurofisiología Clínica (Hospital Nuestra Señora del Prado – Talavera de la Reina), señaló, ante un público heterogéneo (mezcla de médicos, físicos, matemáticos, psicólogos y filósofos), que el Caos y la Complejidad eran los grandes olvidados de la ciencia institucionalizada. Stephen Hawking, por ejemplo, habla mucho de la Teoría del Todo, pero no se encuentra en ella ni una palabra referida a este campo fronterizo de los sistemas caóticos y complejos (en verdad, según Fariñas, esta teoría sólo se ocupa del tablero de juego, del espacio-tiempo). Para Gregorio Marañón, cuyo busto nos contemplaba impertérrito, la verdadera grandeza de la ciencia acaba valorándose por su utilidad. Y, como apuntó Fariñas, sólo ahora, a principios del siglo XXI, estamos comenzando a medir la de la Teoría del Caos.

Dentro de la Jornada del Miércoles, intervinieron Fernando Fariñas, Carlos Madrid, José Carlos Antoranz, Miguel Ángel F. Sanjuán, Manuel Varela y Krista Lundelin. En *Caos, evolución y ubicuidad*, el Dr. Fernando Fariñas, verdadero especialista en la materia, explicó que la Teoría del Caos estudia cualitativamente una clase de sistemas de difícil descripción que están a medio camino entre el orden y el desorden, entre el cristal y el humo. Mientras que los sistemas muy ordenados o muy desordenados son simples, de fácil descripción, estos sistemas intermedios presentan un pico de complejidad. Los sistemas caóticos son sistemas deterministas no lineales que muestran un comportamiento aperiódico, lo que los hace impredecibles.

El aleteo de las alas de una mariposa se puede sentir al otro lado del mundo, afirma el proverbio chino. Además, los sistemas caóticos son ubicuos, pues aparecen en Meteorología, Biología, Astrofísica, Economía... Casi todos, por no decir todos, los sistemas reales presentan una dinámica caótica. Ahora bien, Fariñas matizó que caos y complejidad no son sinónimos, pese a la confusión

reinante. Los sistemas complejos son estudiados por las llamadas Ciencias de la Complejidad (Termodinámica de los procesos irreversibles, Teoría del Caos, Geometría Fractal, Teoría de Catástrofes, Lógica Difusa, etc.); y los sistemas caóticos, de los que se ocupa la Teoría del Caos, son sólo una clase dentro de los sistemas complejos. La complejidad es un género que se desdobra en tres especies distintas: la complejidad dinámica (Teoría del Caos), la complejidad estructural (Geometría Fractal) y la complejidad algorítmica (Teoría de la Información).

La complejidad es, pues, algo más que el caos. Los sistemas complejos son, de hecho, emergentes (aunque la emergencia funciona muchas veces, según se subrayó en el tiempo de debate, como un concepto sumidero que por sí mismo no explica nada). El todo es más que la suma de las partes. Esta creatividad distingue los sistemas complejos de los sistemas complicados. Fariñas concluyó contando que durante el diseño del Cartel del Encuentro había introducido deliberadamente cuatro errores, cuatro ejemplos de sistemas complicados que no son complejos, que los asistentes debíamos detectar. Uno de ellos, como puede buscarse en la Figura 1, es un reloj. Los relojes son sistemas complicados pero no complejos; porque son predecibles y no muestran ninguna propiedad emergente. Descubre tú también, lector, cuáles son los restantes tres sistemas complicados no-complejos.¹

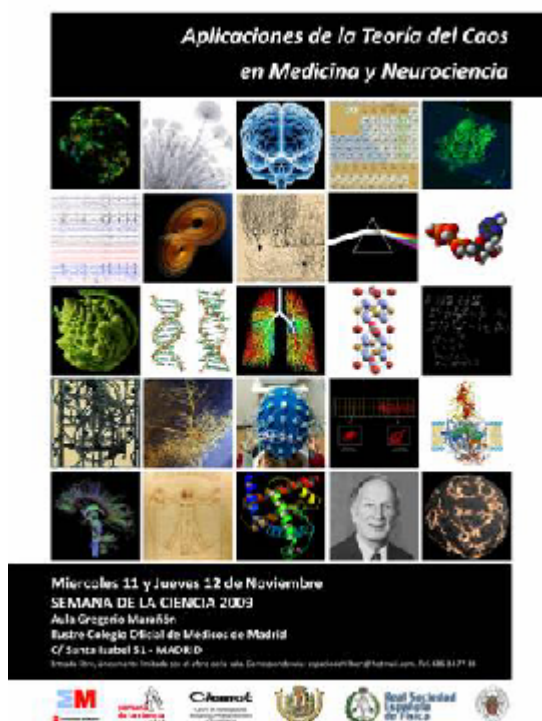


Figura 1. Cartel anunciador del Encuentro (diseñado por F. Fariñas)

A continuación, intervino Carlos Madrid, matemático y filósofo, Profesor de Matemáticas en el Instituto Lázaro Cárdenas e Investigador del Dpto. de Lógica y Filosofía de la Ciencia de la Universidad Complutense de Madrid, y quizá uno de los pocos conocedores en España del significado epistemológico de los sistemas caóticos, con *Historia de la Teoría del Caos contada para escépticos. Cuestiones de génesis y estructura*. Tras dejar constancia de las revolucionarias consecuencias filosóficas del nuevo paradigma (que harían torcer el gesto al gran Kant), Madrid ofreció una panorámica histórica de la Teoría del Caos, valorando el papel protagonista desempeñado en su creación por Poincaré y Smale antes que Lorenz, quien sólo fue uno más de sus muchos *padres*... Pero, tal y como Madrid puso de relieve, múltiples epistemólogos albergan dudas sobre si la Teoría del Caos es, realmente, una teoría *científica*, dado que los sistemas caóticos no son predecibles y la

¹ El prisma, las ecuaciones y la red cristalina.

predictibilidad pasa por ser una característica necesaria de la *buena* ciencia. Frente a los escépticos del caos, Madrid defendió que la Teoría del Caos induce una lectura novedosa del viejo dilema predecir/explicar, así como una nueva visión del quehacer científico.

J. Carlos Antoranz, Catedrático de Física Matemática y de Fluidos de la Universidad Nacional de Educación a Distancia, padre de toda una generación de físicos dedicados a la Dinámica de Fluidos, participó con *Matemáticas, Caos y Medicina: un mènage à trois muy productivo*. Antoranz explicó que la colaboración entre ciencias duras y blandas ha llevado, en pocos años, a una simbiosis muy productiva. Podemos, por ejemplo, hablar de imágenes médicas gracias al desarrollo conjunto de las Matemáticas, de la Física y de la Medicina. Del mismo modo, la Teoría del Caos ha pasado de ser nexos entre desarrollos alejados, en principio, de la realidad, a ser una herramienta muy potente en manos expertas que utilizan el mismo lenguaje que los médicos.

Ahora bien, la aplicación médica de la Teoría del Caos no permite predecir exactamente o resolver problemas puntuales, sino más bien caracterizar -mediante “números mágicos” (índices)- ciertos comportamientos de esos sistemas tan complejos que son los sistemas biológicos. La cardiología, la electroencefalografía (EEG) y la magnetoencefalografía (MEG) aportan, en este sentido, buenas ilustraciones. Medir y modelar, defendió Antoranz, a la manera de la Física y las Matemáticas, supondrá un gran progreso para la Medicina. No obstante, este enfoque multidisciplinario no saldrá barato y exigirá un replanteamiento de la política científica.

Después, tomó la palabra Miguel Ángel F. Sanjuán, Catedrático de Física Aplicada de la Universidad Rey Juan Carlos, referencia en el mundo de la Dinámica No Lineal y colaborador frecuente de James Yorke, autor de la denominación de Teoría del Caos. Su ponencia *Caos y Complejidad en Ciencias de la Vida* fue un reclamo para la investigación interdisciplinaria. Sanjuán mantuvo que la Física ha colaborado desde siempre con la Biología (estudios ortopédicos, de la presión sanguínea, de la terapia tumoral...). Le bastó citar los nombres de algunos Premios Nobel: Schrödinger -cuyo libro *¿Qué es la vida?* cambió la carrera de Watson (ADN)-, Bohr, Pauling, Gamow, Gell-Mann, Prigogine, etc. Se trata, aseguró Sanjuán, de entender los procesos biológicos con herramientas físicas.

En los últimos años, la influencia de la Dinámica No Lineal, la Teoría del Caos y la Física de los Sistemas Complejos ha supuesto un fuerte estímulo. Sanjuán ofreció una visión general de estas nuevas ideas mediante distintos ejemplos de aplicación, entre los que destacó por su importancia el estudio de la dinámica neuronal y del comportamiento del cerebro, del que comúnmente se dice que es uno de los sistemas complejos por antonomasia.

Manuel Varela, médico de médicos, Jefe de Sección del Servicio de Medicina Interna del Hospital de Móstoles, explicó, en *Salud y Enfermedad: una perspectiva compleja*, una nueva concepción de la enfermedad, alejada del paradigma tradicional y que se inspira en las ideas de los sistemas caóticos. Frente a la tópica dicotomía sano-enfermo, que cosifica la enfermedad y la asemeja a la posesión (*algo* que me pasa, *algo* que he cogido), Varela sostuvo que salud y enfermedad forman un continuo. ¿Quién es capaz de afirmar que está totalmente sano? A lo mejor, después de todo, no es que *tenga* migraña habitualmente, sino que *soy* migrañoso.

Si la mentalidad anatomo-clínica concibe la enfermedad como el efecto de una lesión, la mentalidad fisio-patológica prefiere verla como una diferencia meramente cuantitativa dentro del proceso biológico. ¿Con cuál de las dos mentalidades nos identificamos los clínicos?, se preguntó el Doctor Varela. Buena pregunta. Cuya respuesta, dijo, es uno de los grandes monstruos barridos bajo la alfombra. Apoyándose en los conceptos de la Teoría del Caos, Varela apostó por concebir la enfermedad como una pérdida de complejidad; puesto que múltiples estudios muestran que el aumento de la regularidad nos acerca a la muerte. La aparición de regularidades en los ritmos cardiacos de los pacientes críticos es mal síntoma. Por último, Varela mostró la manifiesta semejanza entre algunos órganos humanos y diversos fractales. Un ejemplo son los bronquios. ¿Por qué poseen estructura

fractal? Porque los fractales, al poseer dimensión fraccionaria (fractal), son los perfectos intercambiadores de dimensión. Así, los bronquios son el puente para pasar de un tubo de transporte tridimensional a un plano de difusión bidimensional.

Seguidamente, intervino Krista Lundelin, Facultativa Especialista en Medicina Interna del Hospital de Móstoles, y quien ha investigado codo con codo con Manuel Varela. En *Análisis de la Complejidad del perfil térmico y del perfil glucémico*, Lundelin planteó la hipótesis de que existe correlación entre la complejidad –medida con la entropía aproximada u otro estimador- de la temperatura (o del nivel glucémico) y la futura evolución del paciente. Una menor complejidad se asocia a una mayor mortalidad. Sus resultados sugieren que en pacientes críticos la pérdida de complejidad de la curva de temperatura es un indicador de mal pronóstico y que los que fallecieron durante su estancia en la UCI presentaron menor complejidad del perfil glucémico que los supervivientes.

Al día siguiente, dentro de la Jornada del Jueves, intervinieron, por este orden, Kostadin Koroutchev, Fernando Fariñas, Javier González Marqués, Carlos Pelta y Francisco del Pozo. En *Métodos no lineales de análisis de datos biomédicos. Caos y ruido*, el Profesor Kostadin Koroutchev de la Facultad de Informática de la Universidad Autónoma de Madrid señaló que los sistemas caóticos son de gran interés en el estudio de los sistemas vivos, porque su regulación requiere poca energía, dado que son muy sensibles a las perturbaciones. El problema radica en que los métodos no lineales (cálculo de estimadores o descriptores como las dimensiones fractales, las entropías o los exponentes de Lyapunov) no siempre son válidos, puesto que sólo pueden aplicarse estrictamente a los sistemas caóticos y, al analizar los datos experimentales, podemos equivocarnos al distinguir si proceden de un proceso verdaderamente caótico o de otro con ruido.

Estadísticamente, los sistemas con ruido se parecen mucho a los sistemas caóticos. De hecho, todos los sistemas caóticos reales existen con ruido. Koroutchev criticó que hasta hace no muchos años todos los fenómenos se interpretaban como caóticos sin contar con el factor ruido (al medir o proveniente del sistema). No en vano, el tiempo ha demostrado que ciertos algoritmos que se creía que permitían distinguir los sistemas caóticos de los sistemas con ruido eran falsos.

A continuación, habló Fernando Fariñas de *n-MAVEC: Neuromonitor Avanzado para Vigilancia de Episodios Críticos. Algorítmica no-lineal y fractal aplicadas a la Neurofisiología*. Fariñas explicó que la electroencefalografía (EEG) es ya una vieja disciplina, injustamente denostada, y que, a pesar de la digitalización del registro, parece enquistada en los mismos principios de reconocimiento de patrones que se utilizaban en la era analógica. Pero los métodos no lineales pueden ofrecer novedades en el análisis de las señales eléctricas medidas mediante electrodos; puesto que la curva EEG parece, a priori, caótica (aperiódica) y fractal (autosemejante, arrugada). Aplicando el método de Ruelle-Takens de reconstrucción del atractor con retrasos, se observa que los pacientes sanos muestran atractores extraños, mientras que los pacientes con encefalopatías determinan ciclos cuasiperiódicos. La meta es, bromeó Fariñas, convertir n-MAVEC en “la máquina que hace π ”, es decir, que pita cuando un paciente crítico entra en crisis. Fariñas y su equipo pretenden dar una solución a la alta mortalidad que provocan los estatus epilépticos no convulsivos o inaparentes.

En *El paradigma de la Teoría del Caos en Psicología*, el Catedrático de Psicología Javier González Marqués, de la Universidad Complutense, delimitó la influencia psicológica del nuevo paradigma, aunque por ahora ésta se limita al préstamo metafórico de ciertos términos. Tras alejarse de la Filosofía, y con ello de la idea cartesiana de lo psíquico como opuesto a lo biológico, la Psicología buscó aproximarse a la Física. En línea con Wundt y su Psicología como ciencia natural o empírica, contraria a la Psicología como ciencia del espíritu de Dilthey, se pasó del estudio del alma o de la mente al estudio de la conducta. Los autores mentalistas afirmaban (con maldad) que el conductismo únicamente se ocupaba del “guión” en la relación Estímulo – Respuesta (E – R). Watson reformuló el problema: la respuesta está en función del estímulo, $R = f(E)$. Dadme un niño y haré de él un genio o un monstruo.

Conductistas posteriores, como Tolman, introdujeron el factor de la intencionalidad del organismo $O: R = f(E,O)$. Hull, filósofo y matemático, postuló una axiomática para determinar la conducta de los organismos. Pero Skinner, menos ingenuo, profundizó en la observación de la conducta como actividad. Con el ascenso de los constructivismos, ligados al nombre de Piaget (siempre mal acogido en los laboratorios de psicología animal), así como de la psicolingüística o de la neuropsicología, aparecieron nuevos enfoques, que subrayaron el papel activo del sujeto al interpretar la realidad. Desde su perspectiva cognitivista, Marqués criticó a los “rateros”, porque bajo la apariencia de aislar variables y medir científicamente, también interpretan (por ejemplo, como señal de placer que la rata muestre el morro hacia arriba). A su juicio, como en el marco cognitivo de la Psicología no es posible medir, la aplicación de la Teoría del Caos se limita a una mera trasposición de términos.

Carlos Pelta, Investigador del Departamento de Psicología Básica de la Universidad Complutense, intervino con *Juegos metamiméticos, caos y cooperación*. Los juegos metamiméticos, diseñados por el francés Chavalarias en 2006, ponen en práctica nociones fundamentales de la Neurociencia Computacional de hoy día, como la metacognición, la reflexividad y la imitación. Estos juegos, algunos de ellos basados en el dilema del prisionero, permiten, cuando se versionan de modo continuo en lugar de discreto, introducir conceptos de la Dinámica No-Lineal. Apoyándose en simulaciones con JAVA, Pelta estudió si es posible un régimen caótico en un juego metamimético espacial. ¿Se dibujará en el cuadrado unidad una composición de clusters similar a la que se da en la reacción de Belousov-Zhabotinsky? Los experimentos de Pelta muestran, por el momento, que la dinámica metamimética no permite una dinámica caótica.

Por último, Francisco del Pozo, Catedrático de Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica de Madrid, habló con *Sincronización de redes neuronales en el cerebro*. Del Pozo detalló su estudio sobre los patrones de conectividad funcional en distintas patologías, en especial, en la enfermedad de Alzheimer, a fin de lograr un diagnóstico precoz. Usando un equipo de magnetoencefalografía (MEG), analizan la sincronización entre neuronas con distintos métodos matemáticos (incluyendo teoría de grafos), para después representar los resultados en una red neuronal. Comparando las redes neuronales resultantes, Del Pozo y su equipo han logrado determinar qué conexiones están más sincronizadas en los pacientes con deterioro cognitivo leve.

El punto final de las Jornadas fue una Mesa Redonda con el sugerente título “Caos: una ciencia útil”, moderada por José Luis Muñiz, Investigador del CIEMAT y Presidente del Grupo Especializado en Física Médica de la Real Sociedad Española de Física, en que participaron José Carlos Antoranz, Fernando Fariñas, Carlos Madrid, Manuel Varela y Antonio Fernández-Rañada, Catedrático de Electromagnetismo de la Universidad Complutense, Presidente de la Real Sociedad Española de Física y pionero introductor de la Teoría del Caos en España allá por los años 70, quien nos hizo el honor de clausurar el Encuentro.

Los artículos que a continuación aparecen son la huella de aquellos dos días de fructífero encuentro multidisciplinar entre médicos, físicos, matemáticos, psicólogos y filósofos. Contamos con las contribuciones notables de F. Fariñas, C. Madrid, J. C. Antoranz, M. A. F. Sanjuán, M. Varela, C. Pelta y, además, J.L. Muñiz, quien cierra el monográfico con un artículo panorámico que recoge muchas de las impresiones –optimistas, pesimistas y neutrales- que se vertieron a lo largo de las ponencias y en la vibrante mesa de debate del final. Como apéndice, incluimos un artículo del Prof. David Alvargonzález de la Facultad de Filosofía de la Universidad de Oviedo, quien aceptó nuestra invitación de analizar con precisión las palabras comodín de inter-, trans-, pluri- y multidisciplinariedad, usadas frecuentemente como sinónimos, pero que no significan ni aspiran a lo mismo. Sólo resta una cosa, animarles a que pasen, lean y queden seducidos por el caos.

Carlos Madrid Casado
Coordinador de este número