

Cartas a Adrián

El efecto mariposa: caos e incertidumbre en los seres vivos

Querido Adrián:

La música es uno de tus aficiones favoritas. Muchas veces me hablas que de cuando “seas mayor” quieres ser cantante... Yo no lo veo muy claro, pero lejos de desanimarte siempre te digo que la mejor manera de conseguirlo es preparándote para ello lo mejor posible. Por eso te animo con tus clases de guitarra y canto, y te escucho siempre que me hablas de tus últimos descubrimientos musicales.

Hace unas semanas me hablaste de un grupo que recién descubriste llamado Efecto Mariposa. Incluso me hiciste oír una de sus canciones, la titulada Complejidad. Yo, la verdad sea dicha, ni estoy al tanto de la música ni es que me interese mucho, pero me llamó la atención el nombre del grupo y el título de la canción, que para mí están claramente relacionados. Te lo comenté, añadiendo además que el nombre del grupo y el concepto de complejidad están estrechamente relacionados con un fenómeno muy interesante que la Ciencia ha puesto de manifiesto hace poco tiempo: el llamado Caos determinista o, de manera algo más rimbombante, la Teoría del Caos.

Te sorprendiste; el comentario despertó tu curiosidad. Así que aprovechando esa ventana de interés que percibí a través de tu lenguaje corporal, pero consciente de que prefieres leer una carta a que te dé una conferencia, me he decidido a dedicar esta tarde, perdida en la sala de espera de un aeropuerto, a intentar ponerte al tanto de lo que es la Teoría del Caos; del Efecto Mariposa (en Ciencia, claro); de la relación que hay entre Caos y Complejidad y de todo esto con el fenómeno de la vida. Quién sabe, a lo mejor después de leer esta carta, cuando vuelvas a escuchar Complejidad, te sugiere más cosas.

La palabra caos la has escuchado muchas veces, Adrián. Si haces memoria seguro que te das cuenta de que, casi siempre, la has oído relacionada con, o como sinónimo de, confusión y desorden. Y es así. La definición que puedes leer en el Diccionario de la Real Academia Española es “estado amorfo e indefinido que se supone anterior a la ordenación del cosmos”. Pero como ocurre muchas veces, la Ciencia ha venido a darle a este concepto del lenguaje común un significado nuevo. En realidad, lo que ha ocurrido es que los científicos han adoptado este término para referirse a un fenómeno que tiene relación con el significado normal del término, pero que no coincide con este. Me estoy refiriendo al denominado Caos determinista o la Teoría del Caos.

Poner en una misma expresión las palabras Teoría (con la que nos referimos a un conjunto de leyes que ponen orden en un campo de conocimiento) y Caos, es paradójico, contradictorio. Pero como voy a intentar explicarte, en realidad no lo son. Lo que la Teoría del Caos viene a poner de manifiesto es que en algunos de los comportamientos más desordenados que observamos en muchos fenómenos naturales existe en realidad un orden oculto, subyacente. ¿Intrigante, no? Ya lo creo, y no sólo para ti sino también para muchos estudiosos de la Biología. Te asombrarías de la cantidad de novelas, películas y música que han encontrado en las ideas de la Teoría del Caos motivos y argumentos. Pero qué te voy a decir yo a tí, un admirador de Efecto Mariposa, sobre esto...

Entonces, ¿en qué consiste el caos de los científicos? En este caso como en tantos otros tampoco es fácil explicarlo de manera que alguien, sin una formación científica previa suficiente, pueda entenderlo. Pero este es el reto y voy a intentarlo. Para ello lo mejor empezar hablándote de algunas características interesantes que vienen al caso de los sistemas biológicos: es lo que los profesores llamamos la introducción. Pero antes de entrar en materia propiamente permíteme una corta digresión.

La Ciencia, Adrián, es como un edificio. Como tal tiene cimientos y estructura, organizados de tal manera que unos conceptos se apoyan en otros anteriores. En el edificio de la Ciencia, para explicar y entender el tejado, es necesario conocer la base y los pilares en los que se apoya. Los materiales de los que están hechos los cimientos y la estructura, son las evidencias científicas. La observación de la realidad, comprobada muchas veces por distintos observadores, siguiendo los principios del Método Científico son los materiales de los que está hecho el edificio de la Ciencia. ¿Y cuál es la finalidad del edificio de la Ciencia? ¿Para qué lo hacemos? Para conocer y comprender el mundo y a nosotros mis-

mos. Por eso la Ciencia es difícil y apasionante. Exige rigor y disciplina, pero si se practica correctamente, produce beneficios extraordinarios. Por ejemplo, gracias a los desarrollos de la Teoría del Caos, tal como te contaré más adelante, hemos cambiado la visión de mundo que teníamos hasta hace poco de manera que ahora lo que algunos creían magia o misterio, tiene una explicación racional y científica. Moraleja: desconfía de los que necesitan acudir a la magia o a lo misterioso para explicar el mundo. Será cuestión de tiempo que la Ciencia acabe explicándolo racionalmente. Por último, las Teorías científicas no son estáticas sino que están permanentemente sujetas a revisión, crítica y por tanto, mejora. Por eso en Ciencia el progreso es posible, mientras que en esas otras formas de explicar el mundo en las que no se admite o no es posible la crítica, el progreso no es posible.

Pero volvamos a Caos. Una característica de cualquier entidad que llamemos viva es que cambia. De hecho la vida es cambio. Cambian los seres vivos a lo largo de su ciclo vital, pero también a lo largo de un día y de una generación a otra (la evolución). Un sinónimo de cambiante es dinámico. Los seres vivos, desde la más humilde bacteria al ser humano, son sistemas, partes del mundo material, que experimentan variaciones en el tiempo; es decir, son sistemas dinámicos. Pues bien, el concepto de caos está relacionado con el carácter dinámico de los sistemas naturales. Los cambios que un sistema puede experimentar son de muchos tipos. Hay una forma de cambiar, muy frecuente entre los seres vivos, que es regular; la que observamos cuando se dan repeticiones cada cierto tiempo de las variables que observamos: son los cambios periódicos. En otros casos, cuando las propiedades cambian pero no de forma regular, la dinámica es aperiódica. Una característica del caos del que estamos hablando es que describe dinámicas que no se repiten, aperiódicas. Fíjate ahora en un detalle importante: cuando algo es aperiódico, cuando cambia pero lo hace de manera que no se repite regularmente, entonces es impredecible. Esta es otra de las características que tiene la dinámica caótica, la impredecibilidad.

El otro adjetivo asociado al concepto de caos es “determinista”. Determinista quiere decir que cualquier estado en el que un sistema se encuentre es consecuencia, tiene que ver, viene “determinado” por lo que le ha pasado antes. Lo entenderás mejor si te imaginas una partida de billar. El movimiento de las bolas es determinista ya que se puede calcular exactamente el movimiento y la posición en la que terminará cada bola si conocemos de todas ellas su posición inicial, su peso y las fuerzas que actúan sobre ellas. De hecho un ordenador puede hacer este trabajo sin mucha dificultad si le damos los datos necesarios. Has de saber Adrian que la Ciencia moderna, a partir del siglo XVIII y hasta hace muy poco había llegado a la conclusión de que el universo era determinista, y que por tanto sólo era cuestión de tiempo que acabáramos teniendo los datos necesarios y ordenadores suficientemente potentes para ser capaces predecir la evolución de todo el Universo conocido: el futuro, pero también el pasado. Esta visión tan optimista y tranquilizadora del mundo (y no lo olvides Adrián, de nosotros mismos también) se desbarató cuando se descubrió que había sistemas que siendo deterministas, sin embargo eran impredecibles: ¡vaya chasco!

Por último, para entender el caos debemos saber que se aplica a sistemas no lineales. Decimos que un sistema es no lineal cuando los efectos observados (su reacción) no son proporcionales a las causas (a la acción que los provoca). Los sistemas naturales y sobre todo el comportamiento de los seres vivos son no lineales, lo que por cierto hace que la vida sea mucho más compleja (e interesante). El caos del que estamos hablando se refiere, sirve, para describir sistemas dinámicos, aperiódicos, deterministas y no lineales. Vamos, a la vida misma.

Una vez que te he presentado el concepto de caos determinista llega el momento de ponerte un ejemplo para que acabes de entenderlo completamente. Uno de los primeros investigadores que observó la dinámica caótica en un sistema natural fue un investigador dedicado al estudio de la Meteorología, llamado Edward Lorenz. Como investigador del clima, Lorenz quería responder a la pregunta del millón que se hace el hombre del tiempo: ¿lloverá (o nevará o soplará el viento) mañana en la ciudad en la que vivo? Es decir, estaba interesado en desarrollar un sistema que le permitiera predecir el tiempo meteorológico. Empleaba para ello un modelo matemático. El modelo que Lorenz elaboró consistió, después de muchos ensayos y modificaciones, en tres ecuaciones matemáticas, cada una de las cuales describía la dinámica (los cambios que experimentaban) una variable rela-

cionada con el comportamiento de la atmósfera (la humedad, la temperatura o la densidad de aire). Las ecuaciones que Lorenz empleaba eran de un tipo denominado diferenciales. Lo que te interesa saber Adrián es que las ecuaciones diferenciales son muy útiles para describir matemáticamente los cambios que experimentan los sistemas dinámicos. En general son muy difíciles de resolver y de hecho hasta hace poco no se podía hacer nada con ellas. Pero desde que tenemos ordenadores, como son capaces de hacer muchos cálculos en poco tiempo, se pueden obtener las soluciones. Cuando hablo de soluciones de ecuaciones diferenciales me estoy refiriendo a los valores que adoptan cada una de las variables en cada instante de tiempo; o sea, cómo cambia el sistema. Por supuesto Lorenz tenía un gran ordenador, de los mayores que por entonces existían y se puso a ello.

Una característica que tienen las soluciones de las ecuaciones diferenciales es que son distintas según el punto de partida que elijamos (acuérdate, estamos tratando con sistemas deterministas); es lo que se denominan las condiciones iniciales. Dicho de otra manera: para poder hacer una buena predicción del estado de la atmósfera dentro de un día necesitamos saber qué tiempo tenemos hoy.

La representación de los valores que las variables adoptaban a partir de unas condiciones iniciales en el caso del modelo de Lorenz, dio como resultado la imagen que se muestra en la Figura. Observa, Adrián, que las líneas se pliegan sobre sí mismas, confinadas en una región del espacio, moviéndose infinitamente pero sin pasar nunca por el mismo sitio, sin cruzarse nunca. Y fijate también que el dibujo central es como una mariposa, con sus alas extendidas... Es la representación de un sistema con dinámica caótica.

El caos que acabamos de ilustrar con el modelo de Lorenz nos puede servir para entender sus propiedades. La más llamativa es la conocida como extrema sensibilidad a las condiciones iniciales. Fue precisamente Lorenz el que primero se observó este fenómeno. La cosa fue más o menos así.

Una tarde Lorenz quiso que su ordenador repitiera unos resultados que ya había obtenido. Concretamente quería repetir la predicción del tiempo que hacía su modelo correspondiente a varios días más tarde del instante inicial. Sería lo equivalente a predecir el tiempo que hará dentro de dos días conociendo el tiempo que hace hoy. Programó el ordenador para que lo hiciera pero cuando tuvo que introducir los valores de las condiciones iniciales, en lugar de teclear los datos de la primera vez, tecleó otros muy parecidos pero no exactamente los mismos. Esto no tenía consecuencias: los resultados eran tan parecidos que no se distinguían unos de otros. Se fue a su casa y dejó al ordenador trabajando toda la noche. Al día siguiente, cuando Lorenz llegó al laboratorio, lo primero que hizo fue tomarse un café y después ir a ver los resultados que a lo largo de toda la noche había producido diligentemente el ordenador. No se lo esperaba lo que encontró. Resultó que los valores de las tres variables que el modelo predecía para dos días después no se parecían en nada a los que había obtenido la primera vez. En principio pensó que se había equivocado en algo, pero luego de repasar la programación del ordenador y de repetir la experiencia llegó a la conclusión de que no había cometido ningún error y, lo que es más importante, lo único que explicaba las diferencias observadas es que los valores iniciales no eran exactamente los mismos. Es decir, que bastaba una pequeñísima diferencia en estos valores iniciales entre un ensayo y otro para que al cabo de un cierto tiempo las predicciones fueran muy distintas. Llamó a este fenómeno... (aquí, repiqueteo de tambores): el Efecto Mariposa. Y lo explicaba así: el sistema atmosférico es tan sensible a las condiciones iniciales, al valor de las variables en el momento inicial, que bastaba la pequeñísima diferencia que provocaba en los valores iniciales (el equivalente a la perturbación que podría producir el aleteo de una mariposa) para que la predicción de un tiempo estable, de un plácido día de verano se transformara en la de una tormenta de verano. Impresionante ¿no? Este comportamiento constituye una de las propiedades del caos, conocida como extrema sensibilidad a las condiciones iniciales. Y es precisamente esta gran sensibilidad la nos lleva a la propiedad o característica más destacada de este tipo de comportamiento dinámico; la impredecibilidad. El sistema es impredecible porque que es imposible prácticamente medir, con absoluta precisión, el valor de una variable (la temperatura por ejemplo; los termómetros nos dan un valor con una o dos cifras decimales como máximo y además el termómetro que usemos siempre viene afectado por algún error). Por tanto puesto que los valores iniciales siempre serán imprecisos, será imposible predecir la evolución futura en los sistemas con dinámica caótica: todo dependerá de donde partimos en cada caso.