

# El ruido, ¿ordena o desordena?

Cábete

## I. INTRODUCCIÓN

Es algo conocido que un aparato eléctrico cualquiera puede estropearse si se le propina un golpe, pero no es menos popular el hecho de que un segundo porrazo puede volver a hacerlo funcionar. Tampoco es infrecuente ver a un usuario agredir una cabina pública tras perder su moneda, o a un jovencito dando patadas a una máquina de las que sirven sus productos usando hélices traidoras. Recordemos también a Panorámix, enloquecido tras un golpe de menhir. Ningún remedio le fue efectivo salvo la repetición de lo que lo enfermó. ¿Hay alguna explicación para esto aparte de la teoría de error y castigo según la cual un electrodoméstico aprende a no estropearse atemorizado ante la mano larga de su dueño? En este trabajo intentaremos discutir en qué condiciones un sistema es capaz de autoordenarse al recibir una serie de perturbaciones.

## II. ORDEN

No es descabellado considerar que la función de un aparato, la finalidad de su mecanismo, esté asociada a un orden en sus piezas, de manera que una avería siempre sea debida a la pérdida parcial o total de este. Hablamos de orden, ¿pero qué es eso exactamente? Todo el mundo parece tenerlo claro hasta que preguntamos por una definición más o menos general y escuchamos: "Es la disposición geométrica de los objetos de mi habitación tal que mi madre al verla no me regaña". O bien: "¿Pero orden no es femenino? Es lo que mi jefe, en plural, me da cada día." También tenemos la orden de los jesuitas, el orden cero de una expansión de Taylor y sobretodo, que para eso están, los ordenadores. . .

Quizá sea la primera definición la que más se acerque a lo que nos interesa. Decimos que unos objetos están en orden cuando su disposición espacial tiene una cierta regularidad. ¿Pero es suficiente esa condición? Imaginemos una plaza concurrida en hora punta. La observamos sentados en un banco y deducimos claramente que los peatones no están ordenados. Ahora bien, qué pasaría si por un instante, desde nuestra posición, vemos que están dispuestos según una serie de filas perfectas. (Esto pasa a menudo cuando uno observa un paisaje agreste al viajar en tren) ¿Querría decir eso que se han ordenado? Por supuesto, un sistema que pretenda aspirar al orden, debe *persistir* en él temporalmente, dentro de la escala temporal del observador. Para una mariposa de las que viven un solo día, los objetos de la habitación estarán eternamente ordenados o desordenados dependiendo de si nace en sábado o no, respectivamente. . . En cambio, para una divinidad inmortal, el orden que dura un día le debe re-

sultar imperceptible. Otro aspecto destacable es que el orden puede ser puramente temporal, como la rotación de la tierra en torno a sí misma, o bien su precesión. Para la mariposa, ambas son irrelevantes, mientras que para una persona sólo la primera es apreciable a simple vista. Otra discusión más acalorada podría tenerse sobre si el grado de orden de un sistema depende o no de la situación y capacidad de cada observador. Por ejemplo, en un generador informático de números aleatorios, lo que tenemos es una secuencia numérica de período tan largo que nadie es capaz de detectarla a ojo. La utilizamos para simular procesos estocásticos y sin embargo es perfectamente periódica. Otro caso es el de las oscilaciones múltiples en un sistema dinámico. El criterio para decidir si son caóticas o bien tienen una secuencia periódica larguísima no está del todo claro. Los criterios juegan un papel muy importante en la medida del orden. Por todos es sabido que las madres y los hijos nunca tendrán el mismo sobre los sistemas domésticos.

Imaginemos ahora una mesa sobre la que colocamos una serie de objetos. ¿Qué tendríamos que hacer para ponerlos en orden? Por ejemplo, colocarlos en fila, en red cuadrada, según una circunferencia, etc. Lo importante es que exista una cierta *simetría*. Matemáticamente, esto se expresa a través de una función de correlación o bien a través de una distribución. En el segundo caso, que es más intuitivo, se trata de escoger una cantidad y evaluarla para todos los objetos del sistema. Para el caso de la distribución en red cuadrada, si esta cantidad es la distancia que hay entre cada objeto, al hacer un histograma sobre todas las distancias entre todos los objetos obtendremos un máximo claro en la distancia característica de la propia red y también en los múltiplos. También la diagonal del cuadrado y sus múltiplos aparecerán como números característicos. Si los hemos puesto en circunferencia, la cantidad a evaluar será la distancia de cada punto a un punto único cualquiera, de manera que cuando ese punto sea el centro de la figura un claro máximo. Si en un histograma podemos observar máximos diferenciados, podremos asegurar que hay un cierto orden respecto a la magnitud observada. Si en cambio no se distingue nada, diremos que el sistema está desordenado.

## III. EQUILIBRIO

Cuando ponemos los objetos en la mesa, el orden sólo dependerá de la geometría inicial, ya que estos casi no interaccionan entre ellos y esperamos que tampoco haya ningún terremoto que los perturbe. Ahora bien, en la naturaleza existen interacciones capaces de hacer evolucionar un sistema en el tiempo, con lo cual dependerá de

ellas si el orden se conserva o no. En un sistema estático, el orden depende sólo de la geometría. En un sistema dinámico, el orden depende de la regularidad que impongan las fuerzas presentes. Si en lugar de colocar los objetos (sean estos canicas, por ejemplo) en la mesa, los pongo en una huevera, está claro que todos se irán al mínimo más cercano debido a la atracción gravitatoria. Entonces, al hacer de nuevo el histograma de distancias, el grado de orden ya no depende de la geometría inicial de los objetos, sino de la simetría intrínseca del potencial al que están sometidos. Este detalle es importante, puesto que aunque el orden no es un concepto específicamente dinámico, la presencia de una dinámica siempre lo condicionará de forma crucial.

Mientras que para un caso estático tenemos asegurada la permanencia en la misma geometría, cuando exista un potencial que conduzca a los objetos será imprescindible analizar los mínimos de este, ya que aquellos buscarán siempre la posición de estos. Tal es la utilidad de un embudo o de una pinza de la ropa. Hasta ahora, podríamos afirmar que cuando existe una dinámica, el orden del sistema dependerá del orden de los estados de equilibrio. ¿Es siempre correcta, sin embargo, la asociación equilibrio-orden? ¿Acaso no son los seres vivos sistemas altamente ordenados a la vez que muy lejos del equilibrio? Sólo cuando alguien muere se dirige al equilibrio del polvo, así que mantenerse en vida requiere un cierto gasto de energía con cierta constancia. No obstante, esto no cambia mucho el esquema anterior. Tan sólo hay que añadir el efecto de fuerzas externas al potencial total de nuestro sistema. Es decir, que sumando los potenciales internos más los externos, un objeto sometido a ellos tenderá al equilibrio que imponga el potencial resultante.

#### IV. RUIDO

Finalmente, consideremos el papel que tienen las perturbaciones en el orden y veamos cómo estas pueden favorecerlo o perjudicarlo. Una perturbación no deja de ser una fuerza y como tal podría añadirse al esquema anterior, pero lo que tienen de especial es que suelen ser inesperadas e incontrolables. Por otra parte pueden ser tanto externas como internas. Una perturbación externa puede ser el golpe que le damos al televisor, un accidente de coche o un meteorito sobre la tierra. El ruido interno también es posible si el sistema tiene cierta temperatura. De todas maneras, la calificación de externo o interno siempre dependerá de dónde y cómo coloquemos las fronteras del sistema. Además, siempre podemos decir que un sistema es caliente cuando el nivel de perturbaciones es alto, y frío cuando es menos apreciable. En un sistema frío, los elementos irán a parar al mínimo de potencial más cercano dada una condición inicial, pero puede pasar que ese mínimo sea *local*, es decir, que sea sólo una de las posibilidades de equilibrio. También puede pasar que haya zonas donde la dinámica sea débil, léase de potencial casi plano, y entonces la transición

hasta un mínimo puede ser muy lenta. Finalmente, puede haber mínimos de muy diversas profundidades y que los elementos no vayan a parar a los más profundos. En resumen, que un sistema frío conducirá a la situación favorable más cercana a las condiciones iniciales, y no a la situación más favorable. Esto es porque los mínimos de potencial siempre están separados por máximos o *barreras* que impiden que un objeto salte de un mínimo a otro. No obstante, si calentamos el sistema dándole más perturbaciones, la probabilidad de que una de estas haga saltar a un objeto una barrera de potencial es más alta. Y de esta forma, cuanto más alta es la temperatura efectiva de un sistema, más fácilmente podrán las partículas explorarlo en su totalidad. Así, si existe un mínimo que es más profundo que otros, gracias a las fluctuaciones se acabará visitando en algún momento.

Ahora bien, si seguimos incrementando la temperatura indiscriminadamente, las fuerzas estocásticas que pondremos se volverán muy superiores a las fuerzas que impone la dinámica, de manera que esta se volverá irrelevante delante de aquella y el orden será necesariamente nulo. Incluso estando la partícula en el mínimo absoluto de energía, el ruido la arrancaría de allí. Para cada sistema siempre hay un nivel de fluctuaciones óptimo en el cual se equilibra la función exploradora y perturbadora del ruido. Un sistema muy frío nunca encontrará las mejores soluciones. Uno muy caliente las encontrará al mismo tiempo que saldrá de ellas. Así pues, un nivel de ruido intermedio siempre es el ideal para llegar a las mejores soluciones de equilibrio. Como ejemplo, miremos la evolución de las especies. Cada especie representa una solución ante la muerte y su entorno. El ruido en este caso son las mutaciones que se producen en los códigos genéticos. Si no hubiera mutaciones, nunca se hubiera producido ni siquiera la primera especie. En cambio, si nos bañáramos cada día con radiación alfa, mutaríamos tanto que moriríamos rápidamente. Por lo tanto, el nivel de las fluctuaciones puede separar entre evolución y exterminio en este caso. Otro ejemplo no tan evidente se encuentra en la creatividad de un artista o científico. Si se trata de una persona fría y demasiado cuerda, nunca podrá crear nada original sino tan sólo calcular muy correctamente a partir de ideas ya inventadas, es decir, seguir la dinámica. En cambio, el que posee cierto grado de locura tiene más probabilidad de caer en ideas nuevas y mejores, y una vez allí quedarse y desarrollarlas. El que está completamente chalado tendrá siempre ocurrencias geniales, pero no podrá permanecer en ninguna... Mencionemos también que a veces las barreras son tan gigantescas que es casi imposible atravesarlas, como es el caso de muchas reacciones nucleares que, siendo energéticamente favorables, necesitan de una fluctuación monstruosa para producirse, pero una vez que se produce una, se libera tanta energía que el sistema se vuelve muy caliente y otras pueden producirse a su vez dando lugar a una cascada de reacciones.

El ruido tiene un doble papel, explorador de diferentes soluciones y a la vez perturbador de estas. Según su intensidad, dominará uno de los dos, existiendo siempre un nivel que optimiza el balance entre ellas. Como conclusión, diremos que el ruido afecta exclusivamente a la dinámica y al equilibrio, mientras que el orden es un valor puramente geométrico y de simetrías. Sólo cuando la dinámica tiene propiedades geométricas (espaciales o temporales) que inducen una regularidad en el sistema, el ruido puede encargarse de facilitar la búsqueda de tal regularidad o bien puede sacarla de ella.

## V. MODELO ILUSTRATIVO

A continuación, para ilustrar todo lo dicho, proponemos un modelo sencillo y unidimensional en el que tendremos una colectividad de partículas sometidas a una cierta dinámica y a un cierto ruido. La dinámica la consideraremos a tan alta fricción que anularemos toda oscilación y así será más sencillo analizarlo. Por otra parte, las fluctuaciones serán equivalentes a las de una temperatura térmica. La cantidad que definirá el orden será la distancia de cada partícula respecto a las demás, con lo cual una situación equiespaciada será también la más ordenada. Veamos diferentes situaciones en las que se reproduzcan todos los regímenes discutidos hasta ahora. Tendremos siempre la visualización de las partículas junto con el histograma correspondiente. Para ello, hay que usar el software adjunto a este texto, en el que se dan las instrucciones pertinentes.

En la situación inicial vemos la situación en la que no existe ningún potencial resultante de las interacciones y el aporte energético externo. Partimos de una condición inicial ordenada y la temperatura es cero, así que el sistema es estático y permanecerá en ese orden. Si ponemos ahora ruido podremos ver cómo el sistema se desordena haciendo desaparecer los máximos del histograma. En la situación de máximo desorden, veremos que mayores distancias parecen tener un número de sucesos menor, pero esto es debido al algoritmo que cuenta las parejas y no debe ser tenido en cuenta aquí. A continuación le damos profundidad a los pozos de potencial y vemos que están equidistribuidos en el espacio. Si le ponemos

muy poca temperatura se tardará en llegar a un orden, mientras que poniéndole demasiada este se perderá. En una situación de orden, aumentemos la irregularidad de la separación de los pozos. Como hay cuatro pozos, habrá como máximo seis distancias características (no contamos la distancia nula) y algunas de ellas deberían reflejarse en el histograma.

A continuación volvamos a la situación de regularidad entre mínimos y aumentemos el número de pozos. Veremos cómo el orden se mantiene tras un tiempo transitorio de adaptación al nuevo equilibrio. No obstante, si aumentamos la irregularidad del espacio entre mínimos, habrá tantas distancias características que acabarán todas por ser equiprobables y el orden desaparecerá.

## VI. CONCLUSIONES

El ruido ¿ordena o desordena? Ahora ya podemos contestar la pregunta. El ruido, en un régimen en el que no es ni muy débil ni muy intenso, es imprescindible para llegar al equilibrio absoluto siempre que existan barreras de potencial que lo obstaculicen. No obstante, que ese equilibrio represente un orden o no depende de la dinámica, las fuerzas del sistema, y no de las fluctuaciones. Es algo equivalente a preguntarse si un médico ayuda a un enfermo o no. Lo ayuda solamente si el enfermo quiere curarse, de lo contrario no será más que una pérdida de tiempo. . . Por lo tanto, siempre que queramos arreglar un aparato a golpes para ahorrarnos el abrirlo o el llamar al técnico (o las dos cosas), es recomendable no azotar demasiado fuerte, y si es posible, ir cambiando la dirección de impacto para que la exploración sea lo más homogénea posible. Si el aparato está bien hecho y tiene una dinámica estable, es decir, si es de fabricación alemana, se acabará arreglando. Si en cambio se trata de algo japonés o peor todavía, chino, es mejor comprar otro nuevo que para eso son tan baratos sus productos. Lo que normalmente pasa en los electrodomésticos cuando según el golpe funciona o se estropea, es que hay dos cables de cuyo contacto depende el mecanismo que están mal fijados. Se recomienda entonces que uno desatornille y fije la conexión y se deje de teorías estocásticas.