

OCKHAM, MÁQUINAS DE RUBE GOLBERG Y BRICOLAJE

Carlos Rodríguez-Caso

Complex Systems Lab. Univesitat Pompeu Fabra (PRBB-GRIB). Barcelona España

Uno de los axiomas fundamentales de la Ciencia, y en particular la Biología, es el de la navaja de Ockham o principio de parsimonia. En él se postula que si dos explicaciones ofrecen una aclaración completa de un suceso, la más sencilla suele ser la correcta.

En la Ciencia, tanto como en la vida cotidiana, aplicamos constantemente este principio. Cuando reproducimos un experimento en el laboratorio, pongamos como ejemplo una práctica de Bioquímica de obtención de la constante de Michaelis de una enzima determinada, sabemos de antemano su resultado pero, esta vez, encontramos unos datos inesperados. Enseguida recurrimos a la explicación más simple: error de pipeteo, en nuestros cálculos, diluciones o dudamos del estado de los reactivos. Y es que, aunque en ocasiones es tentador a falta de una respuesta simple, no recurrimos a pensar en las excepciones temporales de las leyes físicas, químicas o de cualquier otra índole, ni tampoco culpamos a diablillos saboteadores que disfrutan haciéndonos la vida imposible. Del mismo modo ocurre en situaciones más cotidianas. No recurrimos a formular disparatadas hipótesis acerca de dónde y cómo hemos podido perder nuestra cartera o llaves de casa que no encontramos por ningún sitio.

Esta forma de pensar, perfectamente establecida en nuestra cultura racional actual, es la que nos libra de cualquier explicación mágica o mística. Algo bastante sensato en la actualidad, pero no tanto para el siglo XIV en el que vivió su precursor Guillermo de Ockham, donde superstición, religión, ciencia y tradición se entremezclaban mucho más que en la actualidad. Esta concepción del mundo nos invita a buscar las causas de un proceso dentro de lo que estimamos razonable o más correctamente más probable. Sin embargo, el abuso de este tipo de razonamiento puede llevarnos a concepciones incorrectas.

En este aspecto quiero resaltar una de las más comunes, que es aplicar este principio al proceso que se quiere entender; en otras palabras, a sus consecuencias. Pero quiero aclarar que con consecuencias me refiero a todo el conjunto de actos, incluido el comportamiento que se genera en un sistema concreto y no a las causas que lo originan. La diferencia es sutil y probablemente irrelevante en muchos casos: pierdo las llaves porque soy un despistado y me las habré dejado en algún lugar donde las haya usado. Sin embargo, existen otros casos, y muy especialmente en Biología, donde las causas y los procesos originados a partir de las mismas no presentan el mismo grado de complejidad.

Este artículo intenta mostrar al lector que, en Biología, son las reglas las que, siendo simples, pueden originar

sistemas o comportamientos que ante nuestros ojos aparecen como innecesariamente complicados para la función que realizan. Veremos que muchas veces la simplicidad que atribuimos a un proceso desconocido por nosotros necesita unas reglas que lo gobiernan mucho más enrevesadas y, por tanto, menos probables.

La máquina de Rube Golberg es una buena metáfora para ilustrar esa idea. Esta máquina se define como cualquier dispositivo que realiza una tarea muy simple de una manera muy complicada y enrevesada. Existe una descripción más extensa en wikipedia.org. El origen de este término procede del cómic, pero posteriormente se formalizó en el campo del software para aquellos procesos innecesariamente largos y enrevesados. En la actualidad es recurrente en publicidad y ha sido un recurso común en dibujos animados de nuestra infancia: Tom y Jerry o el Coyote y el correcaminos. Los aficionados al cine las encontrarán en las películas de Jean Pierre Jeunet (el director de *Amélie*) y Marc Caro donde el ejemplo más llamativo quizá se encuentre en su película «*Delicatessen*» (1991) donde una de las protagonistas idea complicadas formas de suicidio que no son otra cosa que máquinas de Rube Golberg, o bien la hilarante cadena de sucesos por la que la protagonista de «*La ciudad de los niños perdidos*» (1995) se salva de una muerte segura.

En el contexto de la Biología se llevan a cabo numerosos procesos a través de estas máquinas de Rube Golberg. La transducción de señales dentro de una célula es un buen ejemplo de ello. En esencia, un estímulo extracelular causa una activación de una cascada de señalización mediante cambios conformacionales que ejercen una enzima sobre la siguiente, desencadenando finalmente un cambio de expresión génica. Como ejemplo la fosforilación en cascada de la familia de las MAP-quinasas en las rutas de ERK, JNK/SAPK o p38/HOG (Gomperts et al. *Signal transduction*. Academic Press London 2002). También a nivel celular, encontramos el caso de la glucosilación de las proteínas. Es un complejo proceso secuencial de adición de azúcares a los péptidos a través de un viaje, primero por el retículo endoplasmático y luego en el aparato de Golgi. Lejos de ser siempre una adición, existen enzimas encargadas de retirar residuos que anteriormente se han añadido, todo en base a las dianas que el péptido expone u oculte a lo largo del proceso, ya que la glucosilación impone cambios en la conformación de la proteína, permitiendo la exposición de dianas antes ocultas dentro de ella.

Nuestra solución, por el contrario, querríamos que fuera elegante, simple, basada en un sentido de optimización de los componentes que utilizamos, eliminando

aquello que no es esencial y para nada enrevesada como dan a entender las máquinas de Rube Golberg. Tal definición de mecanismo, el más simple posible para satisfacer un proceso determinado, sería entonces una especie de corolario de la navaja de Ockham o una aplicación de su filosofía. Si además vamos más lejos y aceptamos que lo simple es lo más probable ¿por qué encontramos máquinas de Rube Golberg en la naturaleza? ¿Son necesarios tantos pasos en una cascada celular? ¿Es realmente necesario retirar residuos ya añadidos a la proteína glucosilada? Entonces, si esto es así, ¿acaso no es válido el principio de simplicidad y la evolución no se rige por este criterio?

Desde un punto de vista evolutivo se puede encontrar una contestación sencilla. En términos de François Jacob (Jacob, F. 1984. *El juego de lo posible*. Trad. al español 2005. ed. Fondo de Cultura Económica.) los seres vivos no son producto de un diseño si no que más bien su evolución ocurre a través de un bricolaje, es decir, la reutilización de lo ya existente como fuente de innovación. Desde un punto de vista quizá demasiado reduccionista, la diversidad se crea a partir de la variación y reutilización de material genético preexistente. Así pues, la duplicación de genes, translocación de dominios génicos y diversificación de las nuevas soluciones son el motor, las reglas del juego, que generan nuevas estrategias moleculares (Gregory, T. R. 2005. *The evolution of the genome*. Elsevier Academia Press, 2005). Vemos que la reorganización génica de determinados factores de transcripción, como es el caso de los dominios bHLH (Morgenstern, B et al, 1999 Evolution of bHLH transcription factors: modular evolution by domain shuffling? *Mol Biol Evol* 16, 1654-1663), o de las proteínas con plegamientos de dedos de Zn (Laudet V. Evolution of the nuclear receptor superfamily: early diversification from an ancestral orphan receptor. *J Mol Endocrinol* 19, 207-226 (1997)) ha proporcionado una diversidad de respuesta génica que se postula que fue necesaria para la transición a la multicelularidad.

Sin embargo, es cuando se confronta la simplicidad de nuestro diseño y lo enrevesado del sistema real cuando se hace patente el error causado por la incorrecta aplicación del criterio de Ockham.

Este problema ha ido apareciendo a lo largo del desarrollo de la reciente Biología Molecular, tanto como en otras muchas ramas descriptivas de la Biología. La

idea inicial de que un gen codifica una proteína, pasó a la abrumadora complicación por la existencia de un mundo de RNA no codificante, y a un muy frecuente ajuste (*splicing*) alternativo (entorno al 50% de los genes conocidos). A su vez, trasladar la idea del DNA como el vector que guarda la información esencial para dar un ciclo biológico, como se observa en los virus, choca con la abundancia de «DNA basura», presencia de intrones y pseudogenes en los eucariotas. Y es aquí donde aparece el reto del científico: buscar la simplicidad en la regla que origina esta diversidad molecular.

Desde la perspectiva de un ingeniero, las máquinas de Rube Golberg y Biología comparten una innecesaria complicación, pero su razón obedece al bricolaje y al oportunismo, es decir, la construcción a partir de lo preexistente. Lo sorprendente de estas invenciones es que se explota una característica de un elemento que inicialmente no se ha ideado para tal efecto, pero tiene su sentido dentro de lo que exige la máquina para llevar a cabo su función. Sin embargo, la versión biológica de estas máquinas en la naturaleza se nos aparece con una plasticidad mucho mayor que los sistemas artificiales *diseñados*, lo que le confiere robustez frente a los fallos en los componentes del sistema. Esta propiedad es conocida como *degeneración*, que es la capacidad que tiene un elemento dentro de un sistema de realizar más de una función. Es el caso de muchas enzimas que son capaces de catalizar más de un sustrato, aunque con afinidades distintas. Esta visión quizás confronta con la del diseñador fiel a la simplicidad del proceso que *a priori* pensaría que, optimizando todas y cada una de las piezas a una función, obtendría un rendimiento global mejor. Si bien esto puede ser cierto, no soluciona que el sistema sea sensible a fallos en sus componentes.

La evolución por bricolaje en un ambiente fluctuante proporcionaría los ingredientes para la aparición de estas máquinas de Rube Goldberg, donde los componentes se reciclan pero también se solapan las funciones. Es en sí la causa más simple y es donde se debe aplicar la lógica de Ockham. Aquí, nuestra mente busca explicaciones complicadas para sucesos complicados, cuando son las reglas simples (a las que en su búsqueda es donde se debe aplicar el principio de simplicidad) las que nos proporcionan los patrones de comportamientos ricos que nos muestra la naturaleza, y es que, en definitiva, la naturaleza escribe recto con renglones torcidos.