

némesis de Hércules, quien a su vez encarna el arquetipo del héroe occidental. Sus doce trabajos, que lo llevan a combatir contra muchísimas criaturas monstruosas, son el relato del triunfo del hombre racional sobre las fuerzas ciegas de la materia bruta; una materia que manifiesta una capacidad prácticamente inagotable de producir criaturas multiformes y abominables, mezclando los cuerpos de animales, hombres y divinidades y produciendo quimeras aterradoras. Hércules no puede sino tener una -y solo una- cabeza: la sede única de la conciencia que lo hace un individuo humano. Mientras Hidra, con su organismo policéfalo, capaz de multiplicar exponencialmente el número de sus cabezas, encarna una especie de horror metafísico: representa el desorden y la multiplicidad que ponen en constante peligro el orden social y cósmico y amenazan con arrojarlo al caos. Quiero romper una lanza en favor de Hidra: esta fantástica criatura policéfala no es un monstruo ciego y estúpido, sino la encarnación de una forma de inteligencia radicalmente diferente de la de su antagonista humano.

La lucha legendaria de Hércules contra Hidra sugiere la idea de que un organismo dotado de más cabezas, precisamente porque está menos centralizado, es necesariamente menos vulnerable. Este concepto es válido en general si se lo aplica a cualquier sistema físico, biológico o social, donde una multiplicación de los centros de control garantiza una estabilidad mayor respecto de las perturbaciones ambientales. También nuestro organismo, aunque está dotado de un sistema nervioso fuertemente centralizado, debe su capacidad de responder de manera eficaz al ambiente en buena medida a su naturaleza "policéfala", es decir, a su estructura multicelular, en la que distintas tareas son llevadas a cabo por órganos y tejidos especializados; pero hay otros organismos que han llevado esta estructura deslocalizada a sus extremas consecuencias. En la naturaleza existen muchísimos animales

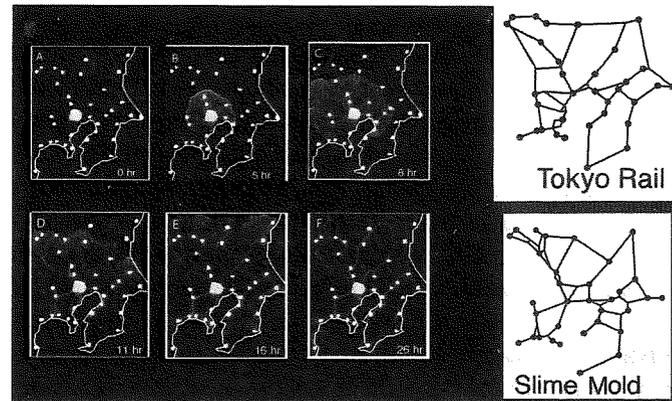
capaces de regenerar partes de su cuerpo -de las lagartijas a las lombrices-, pero ninguno de ellos tiene capacidades comparables a las legendarias de la Hidra de Lerna. Para encontrar algo que se le asemeje, al menos conceptualmente, debemos alejarnos muchísimo de nuestra rama del árbol de la vida.

En los últimos años, un organismo bizarro y aparentemente insignificante ha comenzado a atraer cada vez más la atención científica y también ha suscitado un vasto interés en el gran público. Se trata de *Physarum polycephalum*, conocido también como *moho mucilaginoso* o *légamo policéfalo*: un organismo simple perteneciente al reino de los protistas, de aspecto muy similar al de un moho amarillento, con una dimensión que varía entre diez centímetros y un metro de diámetro. Pero a diferencia de un hongo ordinario, *Physarum polycephalum* es capaz de moverse en su propio ambiente a la velocidad de un milímetro por segundo, deformando su cuerpo y formando extraños "tentáculos" conocidos como *pseudópodos* que le permiten explorar el mundo que lo circunda. A pesar de su velocidad reducida, bajísima para cualquier animal, su cuerpo amorfo le permite desplazarse en busca de la materia vegetal en descomposición de la que se nutre. Desde el punto de vista morfológico, *Physarum polycephalum* no es ni un organismo monocelular ni un organismo multicelular. De hecho, en la fase superior de su insólito ciclo vital, un légamo policéfalo está constituido por un grandísimo número de células que, a diferencia de lo que sucede en los organismos multicelulares propiamente dichos, están unidas en el interior de una misma membrana continente -el endoplasma dentro del cual fluctúan libremente los núcleos-, motivo por el cual este organismo ha sido clasificado durante mucho tiempo como *acelular*, es decir, carente de células. *Physarum polycephalum* no es el único en su género. Junto con él, en el grupo de los

mixomicetos (literalmente *hongos viscosos*, aunque no son de la familia de los hongos propiamente dichos), existe una cantidad de organismos similares, todos constituidos por un conjunto de células unidas para formar una única aglomeración indistinta llamada *plasmodio*.

El motivo por el cual *Physarum polycephalum* recibió toda esta atención no se funda únicamente en su peculiar estructura celular. Como hemos anticipado, el aspecto excepcional está en el hecho de que el plasmodio del légame policéfalo manifiesta un comportamiento similar al de un animal, dado que es capaz de desplazarse en su ambiente en busca de alimento y de protección de la luz solar, pese a ser un organismo mucho más simple, desprovisto de tejidos y de cualquier sistema nervioso. El aprovechamiento que hace el légame policéfalo de su capacidad para desplazarse y deformarse expresa un conjunto de cualidades que lo vuelven extrañamente inteligente. ¿De dónde deriva esta inteligencia? El movimiento de *Physarum polycephalum* ciertamente no está dirigido por ningún "centro de control", pues su cuerpo es poco más que una masa indistinta y homogénea de endoplasma. Pero entonces, ¿cómo logra orientarse en el espacio para procurar su alimento? ¿Cómo hace una gelatina proteica desprovista de un cerebro para dirigir el cuerpo de un modo coherente y organizado? Intentar responder a estas preguntas podría aportar algunas sugerencias sobre el modo en que ciertos cuerpos radicalmente diferentes del nuestro expresan otras formas de inteligencia. Y tal vez también permitiría reconciliarnos con los monstruos policéfalos que desde tiempos remotos pueblan nuestras pesadillas.

Desde los primeros años de nuestro milenio, el comportamiento de *Physarum polycephalum* comenzó a ser estudiado sistemáticamente en laboratorio para intentar encontrar una explicación a su capacidad de afrontar una variedad de problemas diferentes. En un experimento del



Formación de la red ferroviaria de Tokio con *Physarum polycephalum*. Hussien Awad Abubakr y otros, "Physarum Polycephalum Intelligent Foraging Behaviour and Applications - Short Review", Preprint, 2021.

2010 que se volvió célebre,<sup>15</sup> un equipo de científicos de la Universidad de Hokkaido hizo crecer un ejemplar de *Physarum polycephalum* sobre una reproducción del mapa de la ciudad de Tokio, colocando copos de avena, su alimento predilecto, sobre los puntos neurálgicos de la ciudad.

En poquísimo tiempo, el organismo logró optimizar el recorrido que conecta todas las fuentes de alimento y produjo una red de "tentáculos" sorprendentemente similar a la red de transporte ferroviario de la ciudad; un resultado en absoluto previsible: en informática el problema que enfrentó el légame policéfalo se conoce como *problema del viajante* y es mucho más difícil de resolver con los métodos computacionales convencionales. En efecto, para optimizar el recorrido más eficiente que conecta entre sí un número  $n$  de nodos de una red, es necesario considerar

15. Atsushi Tero y otros, "Rules for Biologically Inspired Adaptive Network Design", *Science*, vol. 327, 2010, p. 439.

individualmente todos los recorridos posibles, los que a su vez se multiplican exponencialmente a medida que aumenta el  $n$  y causan, por consiguiente, el aumento exponencial del tiempo de cálculo requerido por el algoritmo. El hecho de que un organismo simple haya sido capaz de encontrar una solución eficiente a un problema tan complejo atrajo de inmediato la atención de una variedad de ámbitos disciplinarios distintos. El informático Andrew Adamatzky, director del Laboratorio de Computación No Convencional de la Universidad del Oeste de Inglaterra, estudió extensamente el comportamiento de *Physarum polycephalum*, extendiendo el experimento de Tokio a una variedad de otros territorios geográficos, y obtuvo siempre una reproducción muy precisa de las redes de transporte construidas por el hombre. En un curioso experimento, un ejemplar del légame policéfalo llegó incluso a ser colocado sobre modelos tridimensionales de la Luna y de Marte, para evaluar posibles estrategias de colonización de planetas extraterrestres.<sup>16</sup>

A partir de allí, todo un campo de estudios académicos se ha desarrollado en torno a la capacidad del légame policéfalo de resolver problemas complejos y Adamatzky se convirtió en el pionero de una disciplina bautizada *physarum computing*. La propuesta es utilizar estos sistemas vivos como verdaderas máquinas computacionales, aprovechando sus habilidades para optimizar trayectorias eficientes entre diferentes fuentes de alimento.<sup>17</sup> Este tipo de problemas de optimización es particularmente difícil de resolver con métodos convencionales, pero se reitera en nuestra vida cotidiana, en efecto, no solo en el diseño de calles sino también, por ejemplo, en la

necesidad de calcular los recorridos más eficientes en el tráfico de la ciudad. Si bien el légame policéfalo es muy diferente a una computadora convencional, puede hacer algo que nuestras máquinas computacionales no son capaces de hacer: utilizarse para desarrollar lo que en informática se conoce como *morphological computation*; es decir, es capaz de "pensar con la forma", modificando su propio cuerpo para construir redes complejas que a una computadora ordinaria le requerirían un tiempo de cálculo larguísimo.

*Physarum polycephalum* se mueve en busca de alimento expandiéndose de modo prácticamente homogéneo por todo el ambiente circundante, para luego retraer las partes de su cuerpo que resultan inútiles en su nutrición y formar, así, una red de tubitos amarillentos similar a un extravagante sistema circulatorio. Cuando se retrae de una superficie, el légame deposita una sustancia que le indica a su cuerpo ya no expandirse sobre esa región particular, construyendo así una auténtica *memoria espacial* de su ambiente. Esta capacidad de recordar aquello que lo circunda -aunque de un modo no convencional- junto con la capacidad de controlar el flujo de su propio endoplasma -aprovechando una estructura proteica similar a la de nuestros músculos- le permiten al légame policéfalo colonizar su ambiente con una eficiencia muy parecida a la humana, pese a no tener un cerebro y, probablemente, sin conciencia alguna. *Physarum polycephalum* no posee ojos ni órganos de los sentidos propiamente dichos, por lo que no puede coordinar su movimiento sobre la base de una representación de la realidad circundante. Su comportamiento inteligente emerge de una multitud de mecanismos bioquímicos simples que actúan localmente en cada parte de su cuerpo.

Por supuesto, nadie cree que el *physarum computing* pueda sustituir en el futuro próximo a las máquinas computacionales que conocemos. La utilización de un sistema

16. Andrew Adamatzky y otros, "Physarum Imitates Exploration and Colonisation of Planets", en Andrew Adamatzky (ed.), *Advances in Physarum Machines. Sensing and Computing with Slime Mould*, Basilea, Springer, 2016, p. 395.

17. Andrew Adamatzky (ed.), *Advances in Physarum Machines*, op. cit.

vivo como soporte computacional presenta límites evidentes, el primero es la necesidad de mantenerlo con vida y de reprogramarlo cada vez que es necesario efectuar una nueva operación. Aunque la utilización del légamo policéfalo como sistema de *problem solving* podría encontrar aplicaciones tecnológicas singulares, en realidad estos estudios, más que orientarse al desarrollo de una tecnología propiamente dicha, consisten en una especie de experimento conceptual, ya que ofrecen la posibilidad de reconsiderar la computación y la inteligencia en nuevos términos. Dado que en una computadora tradicional toda la información es elaborada mediante una *central processing unit* que realiza una a la vez una serie de operaciones complejas, uno de los atractivos de utilizar materiales alternativos para la computación radica precisamente en sus capacidades de efectuar en simultáneo una miríada de operaciones simples y obtener resultados que en algunos casos superan ampliamente los de las computadoras convencionales.



El légamo policéfalo es por definición una criatura de muchas cabezas, aunque tal vez sería más preciso decir que no tiene ninguna. En otras palabras, no posee ningún sistema de control centralizado capaz de recoger las informaciones del ambiente, "calcular" una respuesta apropiada y luego "redistribuir" al resto del cuerpo los impulsos necesarios para producir un movimiento coordinado en la dirección del alimento. En este sentido, su inteligencia es ciertamente muy diferente a la de un mamífero o a la de una computadora: su respuesta compleja al ambiente no es elaborada por un único órgano, sino que es el resultado de un conjunto de numerosos fenómenos microscópicos que se dan a escala molecular, en cada parte de su organismo. Si observamos de cerca el movimiento del légamo policéfalo, lograremos ver que la membrana que lo separa del mundo exterior está recubierta de receptores, minúsculos sensores capaces de ligarse a una sustancia química específica del ambiente. Estos receptores dan inicio a una reacción en cadena que provoca una transformación en la