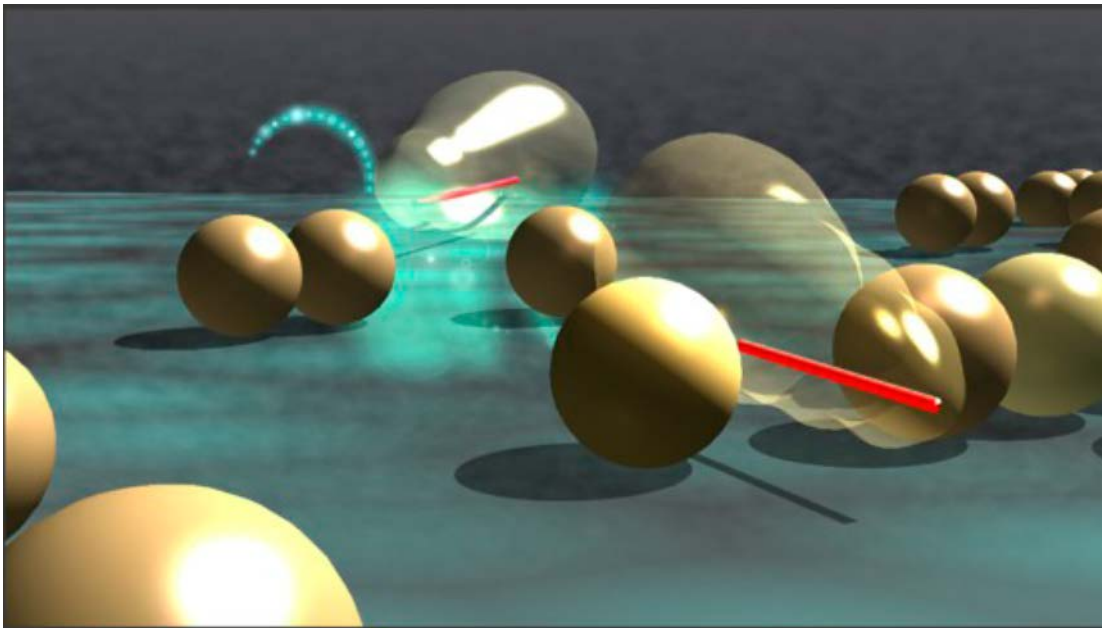


## 20.000 micras de viaje submarino



La construcción de minúsculos submarinos, de tamaño parecido al de las células, que puedan explorar y actuar sobre el cuerpo humano de modo teledirigido, es un viejo anhelo que ha saltado, en unas décadas, de la ficción a la realidad. Los prototipos actuales se propulsan siguiendo estrategias adaptadas a las condiciones imperantes, en donde la agitación térmica es significativa, el medio a surcar se presenta como un fluido extremadamente viscoso, y en donde la integridad del sumergible está continuamente amenazada por macrófagos, obstáculos o la irrupción de bruscos cambios ambientales.

Son diseños específicos que realizan ya tareas sencillas, como el transporte o el mezclado de moléculas, y que en un futuro próximo desarrollarán habilidades que aún no vislumbramos



Representación idealizada de vesículas lipídicas cargadas con nano-hilos magnéticos que son transportadas a través de obstáculos micrométricos [5]/ Fernando Martínez Pedrero

### Un viaje alucinante al interior del cuerpo humano

En la película estadounidense del año 66, Viaje alucinante, un centro de investigación reduce el tamaño del submarino Proteus más de un millón de veces, con el fin de que sus miniaturizados tripulantes curen el hematoma cerebral de un científico conocedor de valiosos secretos. Una vez inyectados en el torrente sanguíneo, los intrépidos odiseos pasan por distintas vicisitudes, como las de huir del ataque de glóbulos blancos o repostar oxígeno en los pulmones del paciente. La cinta produjo un importante impacto sobre crítica y



espectadores, sirviendo además de inspiración para que Asimov escribiera una novela o para que Dalí pintara un cuadro [1].

Siete años antes, en su famosa conferencia Hay mucho sitio al fondo, el peculiar nobel neoyorquino Richard P. Feynman ya apremiaba a los científicos de su época, y a los postreros, a diseñar técnicas que permitieran controlar de manera precisa la materia en las escalas atómica y micrométrica, llegando incluso a ofrecer mil dólares americanos para aquel que construyera un motor eléctrico con un volumen máximo de un cuarto de mililitro [2].

Diseño y fabricación de micro-submarinos

Desde esos albores han pasado más de sesenta años, y el empuje y progreso en esta dirección han sido extraordinarios. La comunidad científica ha tomado conciencia de que muchas de las enfermedades requieren de tratamientos personalizados, en condiciones fisiológicas concretas y en partes del organismo inaccesibles y localizadas. Para ello, se requiere de minúsculos vehículos de control remoto que transporten y protejan los fármacos hasta el lugar donde deban ser liberados. Se trata de un reto apasionante y cada vez más asequible, al que diariamente se enfrentan numerosos científicos e ingenieros, provenientes de distintas áreas de la Física, la Química, la Ingeniería de materiales, la Farmacia o la Medicina. La pequeña nave debe adaptarse a las condiciones particulares de cada reto, siempre sujeto a las leyes que rigen la dinámica de los objetos microscópicos sumergidos.

En este sentido, todo diseño debe cumplir con los tres requisitos principales, que cumple cualquier microorganismo capaz de nadar. El primero es que la propulsión del vehículo microscópico ha de ser lo suficientemente potente como para vencer a la agitación térmica del medio. Esta agitación, conocida como movimiento browniano, fue descrita por primera vez por el botánico Roger Brown en 1827, y explicada por Albert Einstein en su *annus mirabilis*, en términos de las fluctuaciones térmicas de las moléculas del medio [3]. El segundo requisito es que las estrategias de transporte deben adaptarse a una escala en la que las fuerzas de fricción, que emergen cuando el sumergible surca el medio, sobrepasan en mucho a la inerciales: un mundo aristotélico en el que transporte dirigido requiere de la aplicación continua de una acción externa, y en el que el movimiento recíproco más sencillo, el que usa la vieira para propulsarse, es completamente ineficaz, como señaló Edward M. Purcell en su ya famoso teorema de la vieira [4]. El último requisito que han de cumplir estos submarinos, constituidos por materiales microscópicamente desmenuzados, es que su casco debe ser lo suficientemente robusto y/o adaptable como para soportar las previstas “inclemencias” ambientales.

Tipos y Diseños

La mayoría de los microsubmarinos actuales se propulsan gracias a que generan minúsculas corrientes y torbellinos en sus inmediaciones. Dependiendo del tipo de mecanismo que origina estos flujos, estos sistemas pueden clasificarse como activos o actuables. En los primeros, los flujos son generados por reacciones químicas, normalmente catalizadas sobre la superficie de los submarinos, que a su vez producen variaciones locales en las propiedades del medio, como puedan ser la temperatura, la tensión superficial o la concentración de alguna de las componentes. Es por ello que estos sumergibles suelen necesitar de un combustible -glucosa, peróxido de



hidrógeno- que consumen paulatinamente. Por otro lado, los sistemas actuables están constituidos por materiales con propiedades diferentes a las del medio, que pueden estimularse mediante la aplicación campos externos. Dentro de esta clase, hay un especial interés en los submarinos magnéticos: diminutos imanes que pueden transportarse a distancia sin que el estímulo que los mueve dañe a las células y organismos circundantes.

Un futuro no ya tan lejano

En los últimos años ha surgido un gran interés por ampliar las prestaciones de estas naves. Desde dotarles de una envoltura lipídica que permita “disfrazarlos” de células a ojos de las defensas del organismo [5], a decorarlos con moléculas de interés biológico, o a que estén constituidos por varios módulos, que cumplan con funciones diferentes, de modo que puedan realizar tareas cada vez más complejas, como la microcirugía o el transporte discriminado de células [6]. Además, se están ya diseñando sistemas y estrategias que permitan ejecutar las operaciones de modo colectivo y cooperativo, en pequeños canales, bajo confinamiento o a través de obstáculos [7]. Enjambres de micro-robots que se autoorganicen a la vez que disipan energía, al igual que hacen las células, para que ésta pueda ser utilizada en la realización de diferentes tareas. Para la consecución de estos objetivos será fundamental aplicar futuros avances en la Ciencia de Materiales, la Inteligencia Artificial o la Bioquímica.



**Referencias bibliográficas:** [1] <https://www.imdb.com/title/tt0060397/>. [2] R.P. Feynman, "How to Build an Automobile Smaller Than This Dot". Popular Science. New York, New York: Popular Science Publishing Co., Inc. pp. 114–116, 230–232. [3] A. Einstein, Ann. Phys. 17, 549, 1905. [4] E.M. Purcell, American Journal of Physics, 45 (1): 3–11 (1977). [5] A. Mateos-Maroto, F., Ortega, R. G. Rubio, J.-F. Berret, F. Martínez-Pedrero, Particle & Particle Systems Characterization 36, 1970027 (2019). [6] F. Martínez-Pedrero, P.).