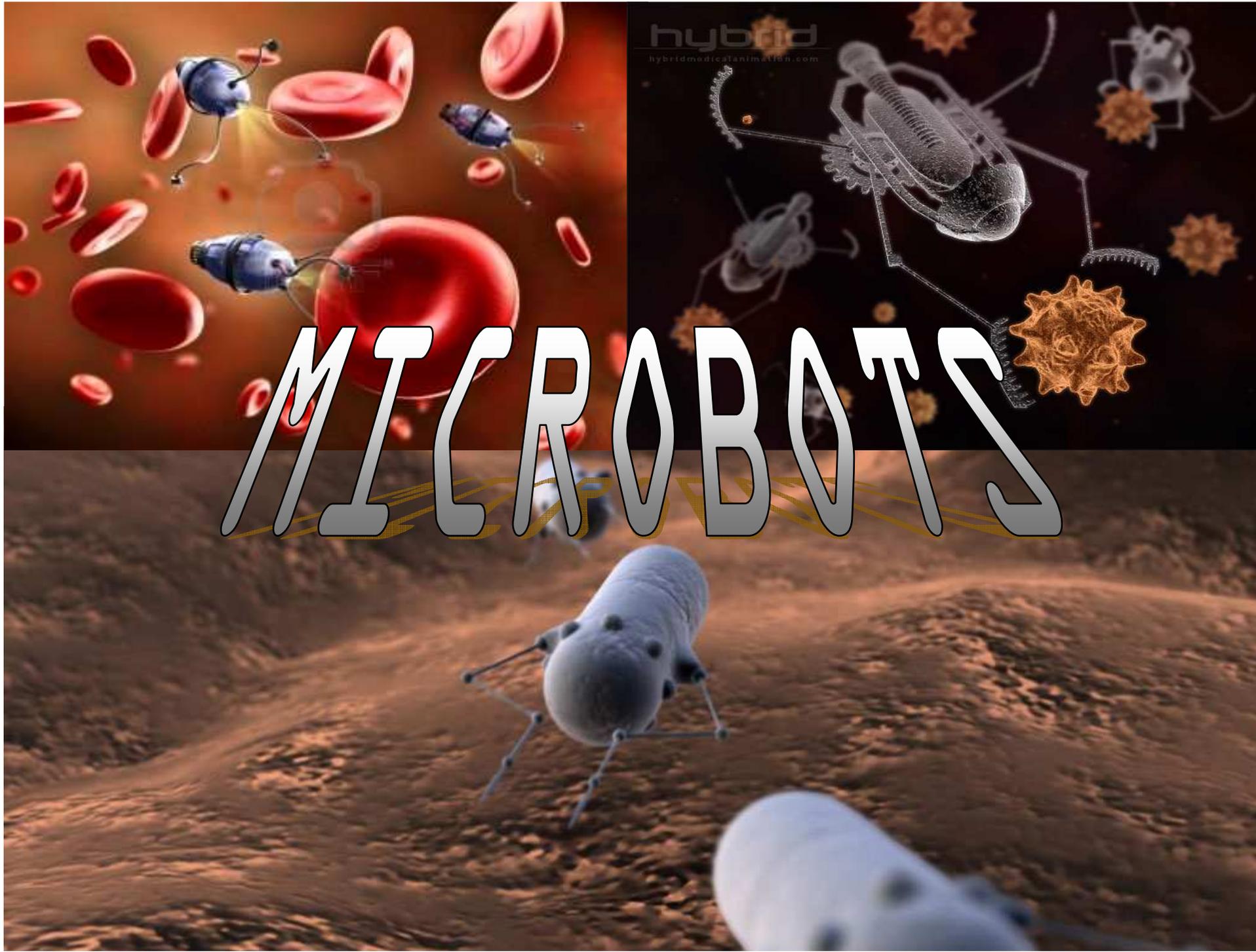


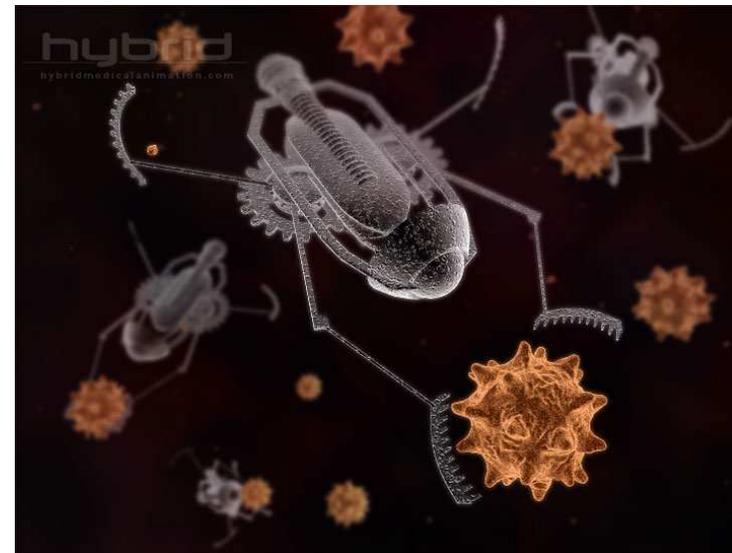
hybrid
hybridmedicalanimation.com

MICROBOTS



¿Qué es un microbot?

- Robot cuyo tamaño es del orden del micrómetro (milésima parte del milímetro).
 - Que puedan sentir (un químico, por ej.)
 - Que puedan ser controlados
 - Que puedan realizar tareas específicas



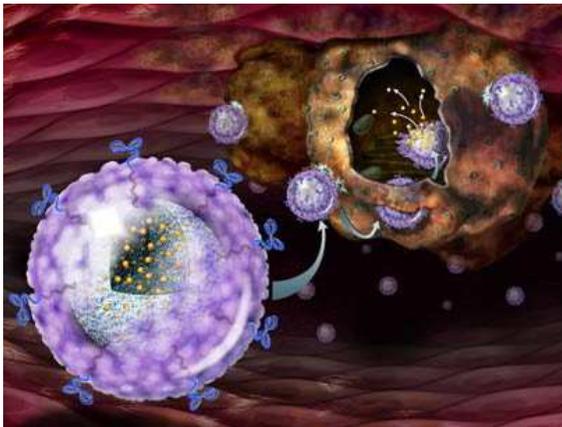
¿Para qué?

Posicionamiento de células



Importante para aislar pequeñas poblaciones de células para pruebas, testear medicamentos y drogas in-vitro y mejorar las investigaciones con células madre.

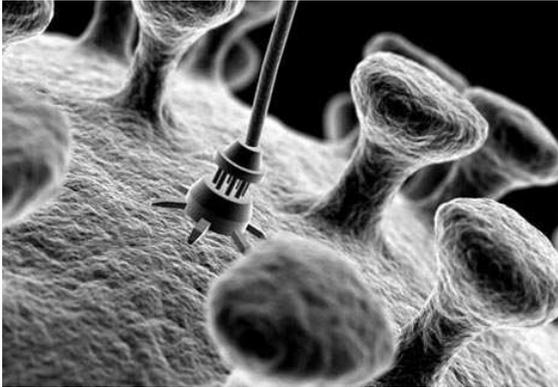
Distribución de drogas



Aumentar la concentración de un medicamento en algunas partes del cuerpo relativa al resto. Se espera localizar y prolongar el efecto de la droga interaccionando sólo con el tejido enfermo sin afectar el sano.

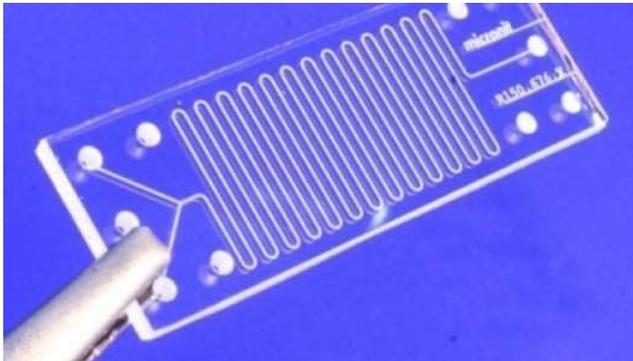
¿Para qué?

Ensamblaje de micro/nano objetos



“Manipular” objetos en la escala micro o nanoscópica para que tengan un determinado arreglo. Muy importante para el desarrollo de la nanotecnología

Aplicaciones *lab-on-a-chip*



Un dispositivo lab-on-a-chip (LOC) integra varias de las funciones de un laboratorio en un chip de pocos centímetros cuadrados de tamaño. Sus ventajas son muchas pero su construcción requiere de una alta precisión.

Ejemplos en la naturaleza

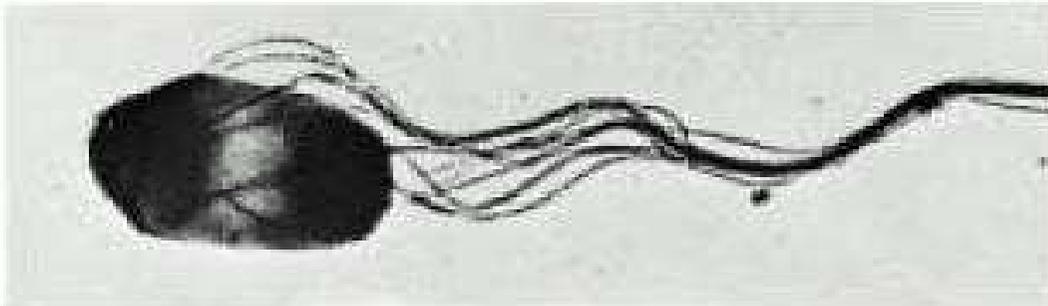
Espermatozoide humano



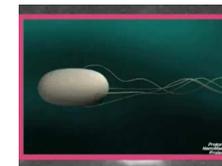
5 μm



Bacteria *S. typhimurium*

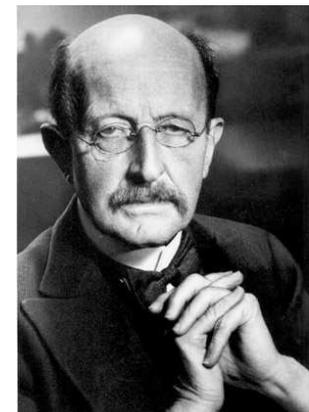
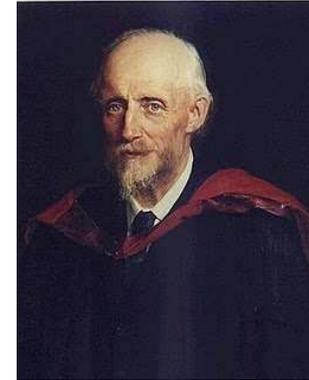


1 μm



Física del mundo microscópico

- Bajo Número de Reynolds
- Movimiento browniano
- Los Efectos Cuánticos no son significativos



La vida a bajo número de Reynolds

A menudo se dice que el movimiento de microorganismos en un fluido es “un flujo a bajo número de Reynolds”. El N° de Reynolds (adimensional) se define como

$$R = \frac{\rho v d}{\eta}$$

donde

ρ = densidad del fluido

v = velocidad del objeto

d = tamaño característico del objeto

η = viscosidad del fluido



Osborne Reynolds
(1842 - 1912)

Este número representa la relación entre la importancia de los efectos inerciales y los efectos viscosos en el fluido.

Valores típicos del número de Reynolds



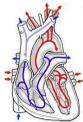
E. coli nadando a máxima velocidad $\sim 1 \times 10^{-5}$



Espermatozoide $\sim 1 \times 10^{-2}$



Flujo sanguíneo en el cerebro $\sim 1 \times 10^2$



Flujo sanguíneo en la aorta $\sim 1 \times 10^3$



Persona nadando a máxima velocidad $\sim 4 \times 10^5$



Ballena azul $\sim 3 \times 10^8$



Transatlántico Queen Elizabeth II $\sim 5 \times 10^9$

¿Qué significa que R sea pequeño?

Partamos de la ecuación de Newton $F = ma$. La fuerza necesaria para impulsar una esfera pequeña a una velocidad v está dada por la ley de Stokes: $F = -6\pi\eta r v$, donde r es el radio de la esfera.

$$m \frac{dv}{dt} = -6\pi\eta r v$$

A partir de esta ecuación podemos calcular la distancia de frenado

$$L \approx R r$$

Por ejemplo, la distancia que recorre una bacteria antes de frenarse es alrededor de 20 veces menor que el tamaño de un átomo de hidrógeno. Para pequeños objetos (tamaño característico $1 \mu\text{m}$) la inercia es completamente irrelevante.

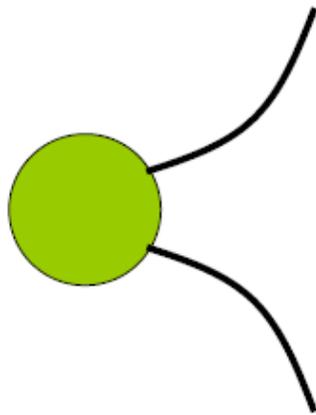
¿Qué significa que R sea pequeño?

La ecuación que describe el movimiento a un bajo número de Reynolds es la ecuación de Stokes.

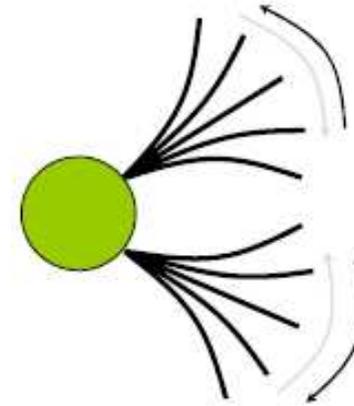
$$0 = -\nabla p + \eta \nabla^2 \vec{v}$$

Esta ecuación presenta reversibilidad temporal, lo que significa que un proceso inverso (en el tiempo) satisface la misma ecuación.

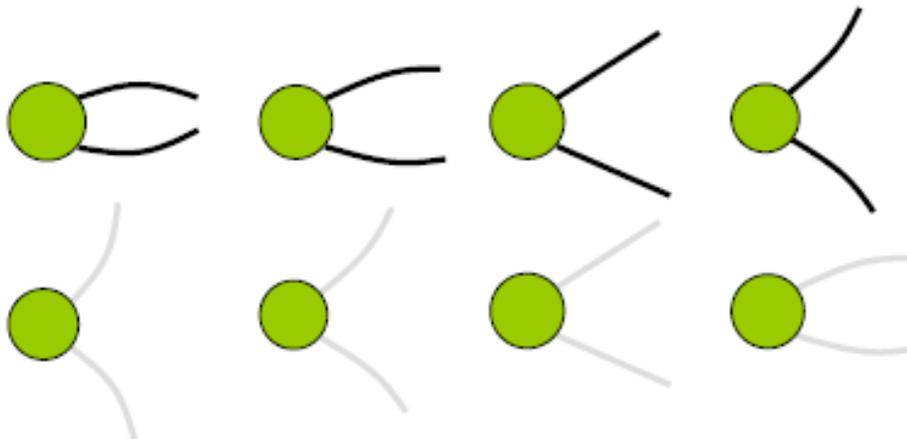
¿Qué significa que R sea pequeño?



Nadador



Estrategia de nado: mover los brazos en forma simétrica.



Brazada hacia adelante

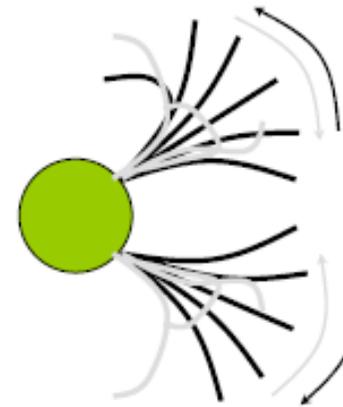
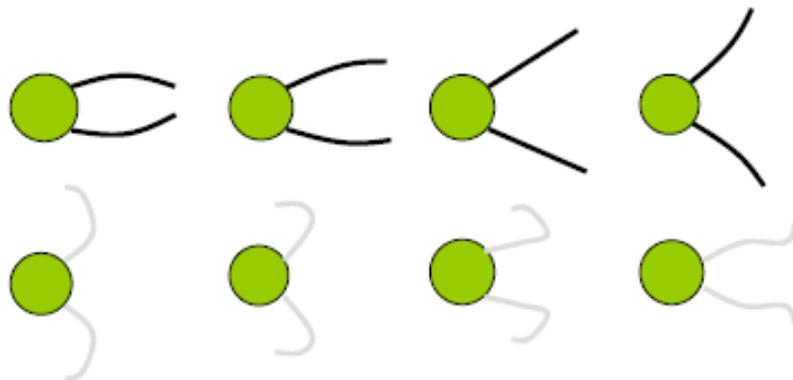
Brazada hacia atrás

Para avanzar hacia la derecha la brazada hacia delante debe ser mas rápida que la brazada hacia atrás, de manera que el impulso hacia adelante sea mayor. Sólo funciona si dominan los efectos inerciales (alto R).

¿Qué significa que R sea pequeño?

Para bajo R , lo que ocurre con pequeños nadadores, la situación es diferente, ya que no es la inercia la que domina sino las fuerzas viscosas. Independientemente de la velocidad el impulso generado es el mismo y por lo tanto el nadador se mueve hacia delante y hacia atrás (oscila) sin desplazarse realmente.

Nueva estrategia: mover los brazos en forma asimétrica.



Brazada hacia adelante

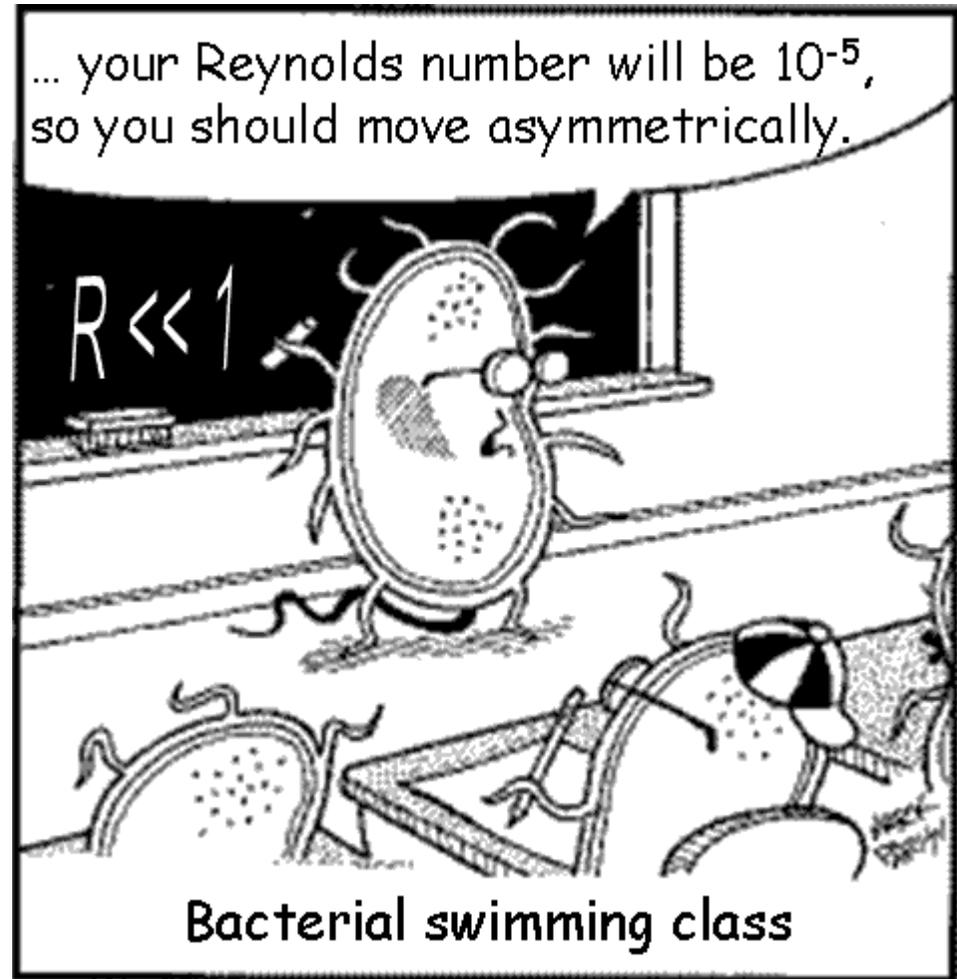
Brazada hacia atrás

Para avanzar a bajo R , una asimetría en el tiempo no es suficiente; debe existir también una asimetría en la *forma*, de manera que las fuerzas de arrastre que se producen sean diferentes.

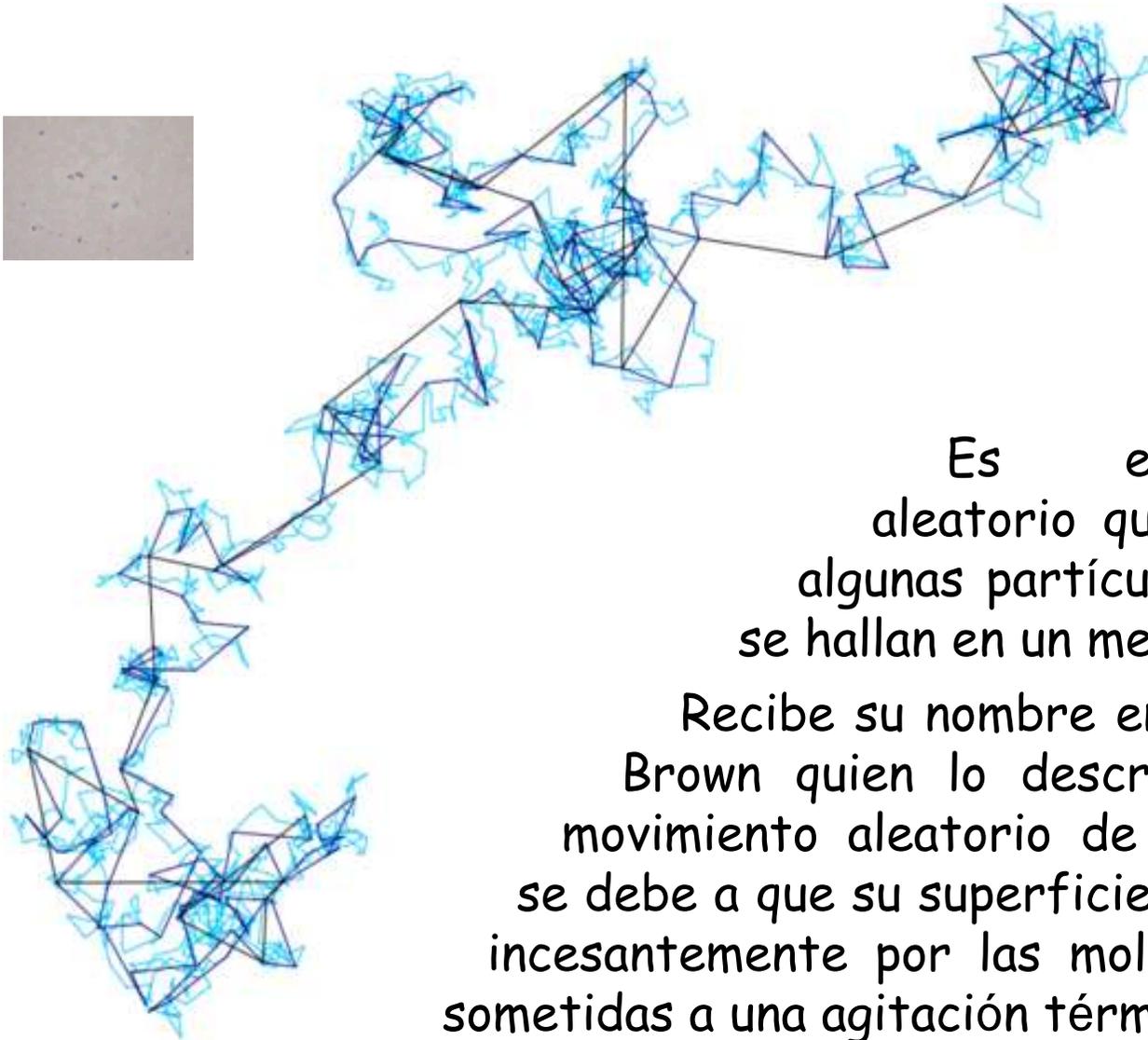
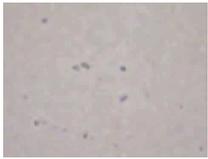
¿Qué significa que R sea pequeño?



Chlamydomonas reinhardtii



Movimiento Browniano



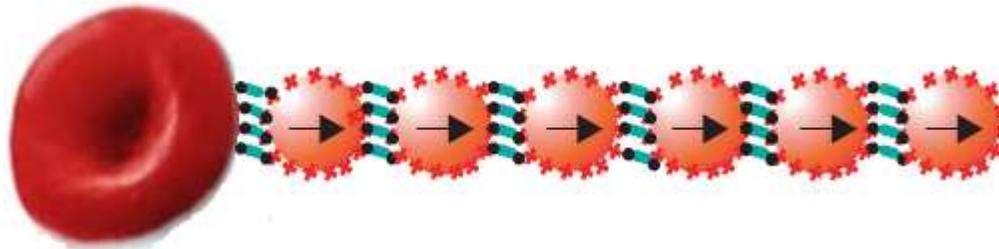
Robert Brown
(1773 - 1858)

Es el movimiento aleatorio que se observa en algunas partículas pequeñas que se hallan en un medio fluido.

Recibe su nombre en honor a Robert Brown quien lo describe en 1827. El movimiento aleatorio de estas partículas se debe a que su superficie es bombardeada incesantemente por las moléculas del fluido sometidas a una agitación térmica.

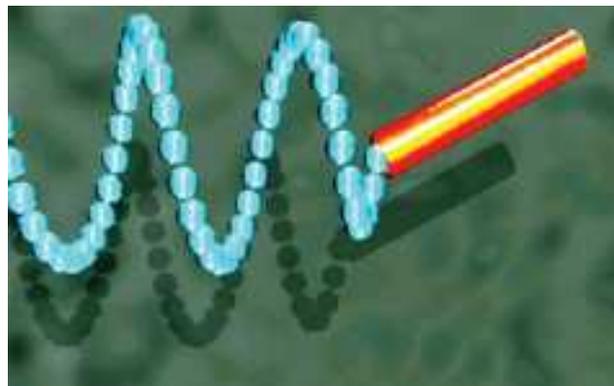
Microbots: dos ejemplos

1) R. Dreyfus et al. Nature **437**, 862-865 (2005).



Glóbulo rojo arrastrado por una “cola”

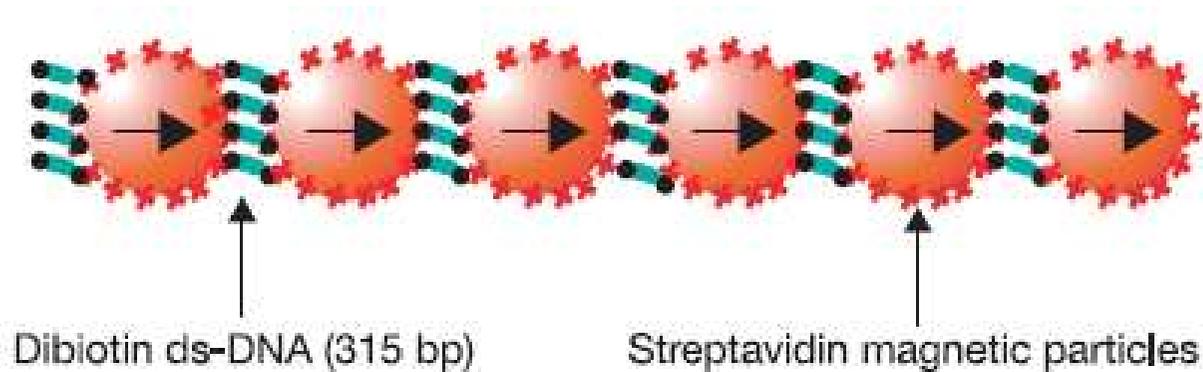
2) A. Solovev et al. Adv. Funct. Mater. **20**, 2430-2435 (2010).



Microtubo propulsado por gas

Microbots: dos ejemplos

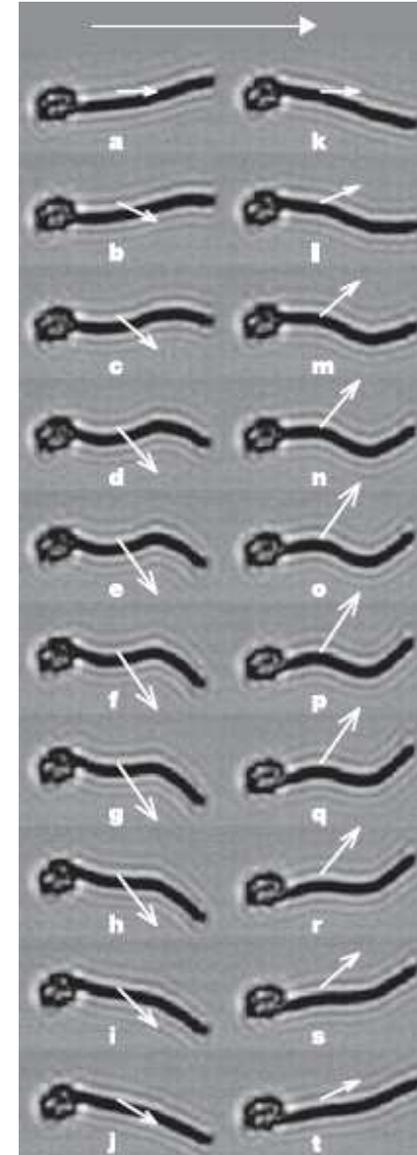
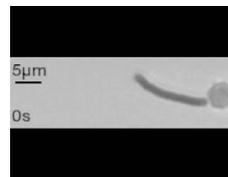
Un “flagelo” formado por partículas superparamagnéticas de 1 μm de diámetro unidas por tiras de ADN de 107 nm de longitud (315 bp).



Energía provista por un campo magnético oscilante

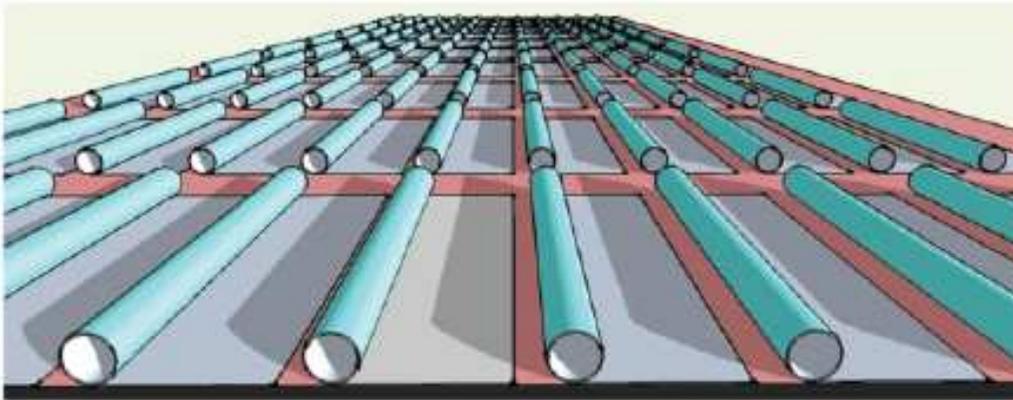
$$\mathbf{B}_x = B_x \mathbf{x} ; \mathbf{B}_y = B_y \sin(2\pi ft) \mathbf{y}$$

Dirección controlada por el campo magnético.



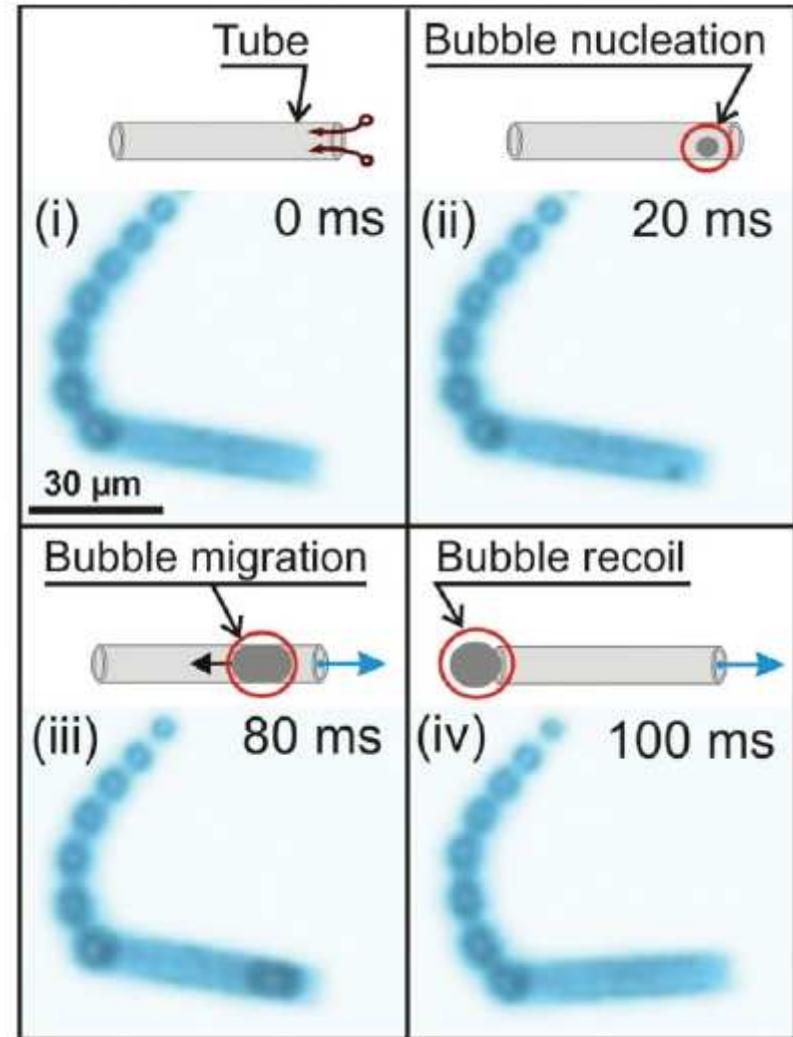
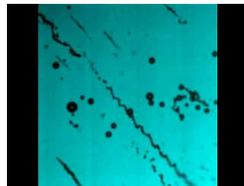
Microbots: dos ejemplos

Microtubos de Ti/Fe/Pt: 50 μm de largo y 5 μm de diámetro.



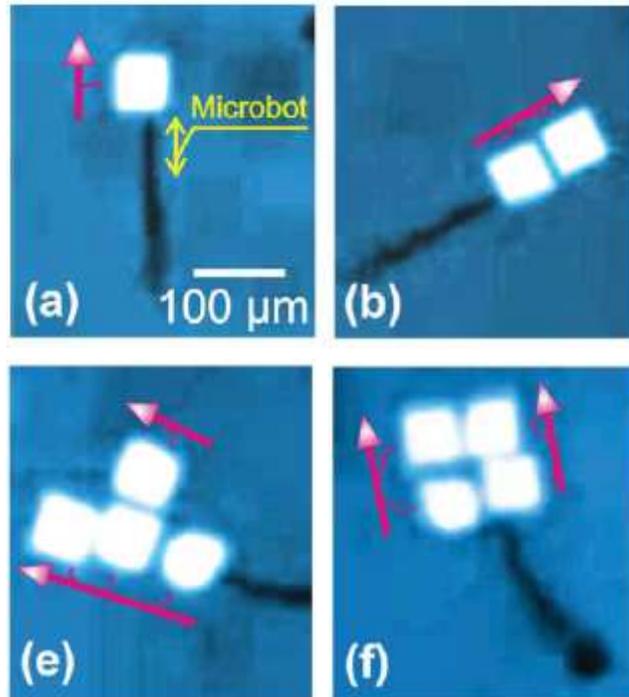
Combustible: peróxido de hidrógeno.

Dirección controlada por un campo magnético.



Microbots: dos ejemplos

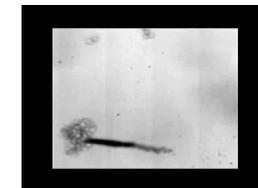
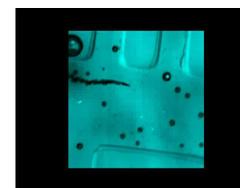
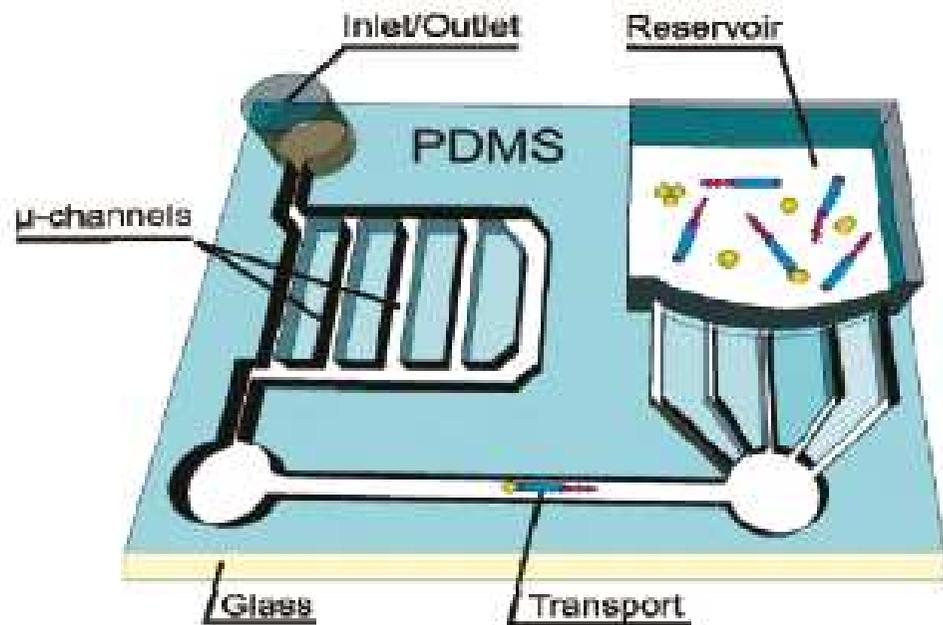
Tarea 1: ensamblar placas metálicas en diferentes arreglos.



Ti/Fe/Pt nanoplacas de 25 nm de espesor por 50 μm de ancho.

Micropartículas de poliestireno de 5 μm de diámetro

Tarea 2: transportar micropartículas a lo largo de canales.



Conclusiones

- Mencionamos las características de la física del mundo microscópico y sus consecuencias:
 - bajo número de Reynolds
 - movimiento browniano no despreciable.
- Describimos dos ejemplos de microbots construidos en laboratorios de muy reciente aparición.
- El desarrollo de estos pequeños robots puede ser utilizado en diversos procesos como distribución de drogas, posicionamiento de células y ensamblaje de nano/micro objetos en forma directa o a través del movimiento controlado de pequeñas cantidades del fluido alrededor.