

*Lilith 3D (estereograma) – Hans Ruedi Giger (1977)*

## Deus ex machina

Ernesto Fernando Saldívar Pérez.

Hablar de la psicología de las máquinas es tan absurdo como decir que es posible interpretar los problemas emocionales de las computadoras a partir de errores de programación; sin embargo, comparaciones entre las máquinas con el cerebro y el cuerpo humano han ayudado a explicar en parte el funcionamiento de ambos.

La filosofía de la psicología derrumbó el dogma del cerebro como una máquina de Turing cuando la espontaneidad neuronal demostró que la estimulación externa era innecesaria para que una neurona tuviera actividad; el estado normal de toda neurona, excitada o inhibida, es de actividad espontánea continua. El cerebro se encuentra activo en todo momento, incluso cuando estamos dormidos, pues aunque permanezcamos relativamente inmóviles, nuestro cerebro sueña y el cambio en la

actividad neuronal no siempre se debe a causas externas. Por el contrario, una máquina sólo puede cambiar de estado por un input o entrada de información, y dicho cambio de actividad se puede formular matemáticamente; por ejemplo, uno de los axiomas de la teoría de la máquina de Turing es: “ $T(s, 0) = s$ ”, donde  $T$  es la próxima función estado,  $s$  es un estado arbitrario de la máquina y  $0$  es el input nulo.

La actividad del cerebro cuando piensa, imagina o toma decisiones, aún no se ha formulado de manera matemática, pero en la investigación neurocientífica se vislumbra un horizonte donde componentes y aparatos mecánicos se pueden comunicar y fusionar con el ser humano de manera que sean controlados por su actividad cerebral y que, inversamente, estos aparatos estimulen la corteza cerebral creando impulsos nerviosos, interpretados en el cerebro como experiencias sensoriales.

Más de 100 años de investigación científica muestran que la complejidad de los sistemas biológicos está subordinada a las leyes de la física de tal manera que los componentes mecánicos, que también se encuentran subordinados a los fenómenos físicos, se pueden integrar a los componentes biológicos.

### **El cerebro, la máquina de soñar**

Gabriel García Márquez, menciona en el prólogo del libro *El cerebro y el mito del yo*, de Rodolfo Llinas, que ambos, el autor y él, ansían que el ser humano aprenda a entenderse a sí mismo; más adelante escribe García Márquez que Llinás le ha dicho que el cerebro es una máquina para soñar.

Esta frase me llama la atención ya que Rodolfo Llinas es director del Departamento de Fisiología y Neurociencia de la Escuela de Medicina de la Universidad de Nueva York y autor de más de 500 artículos científicos, y ha participado en investigaciones del Neurolab de la NASA donde se evalúa el efecto de la gravedad cero sobre el cerebro.

Su interés en el papel de las neuronas en fenómenos como la conciencia, lo ha llevado a proponer que ésta es resultado de la coherencia temporal en la actividad de las neuronas talámicas del cerebro; propone además que la geometría en la frecuencia rítmica de la actividad neuronal es producto de la necesidad de percibir un mundo por el cual se pueda desplazar el cuerpo. En otras palabras, el cerebro hace

una representación del mundo exterior, un mundo virtual para desplazar el cuerpo como un titiritero mueve a un títere.



Fig. 1 Rodolfo Llinás (portada para la revista *Bocas* / Jorge Oviedo)

Como el corazón o el hígado, el cerebro tiene una individualidad y una localización definida, es un sistema orgánico básicamente cerrado en su naturaleza y operación, al que no oímos ni sentimos palpitar y que tampoco experimenta dolor si es golpeado, pues no tiene receptores para el dolor a diferencia de la mayor parte de los órganos y sistemas del cuerpo. Llinás menciona en su libro que el cerebro evolucionó por ensayo y error, y como los otros órganos, no lo hizo con un plan o intención a priori, aunque se presume que en algún momento imitó alguna propiedad del universo. Nuestra adaptación al medio desembocó en dos estados de actividad cerebral definidos: estar despiertos o dormidos.

Cuando dormimos el cerebro continúa activo pero con una actividad eléctrica distinta al estado de vigilia (estar despiertos) que se distingue por patrones de onda cíclicos; y aunque el cuerpo permanece en relativa calma, el cerebro sueña. Esta

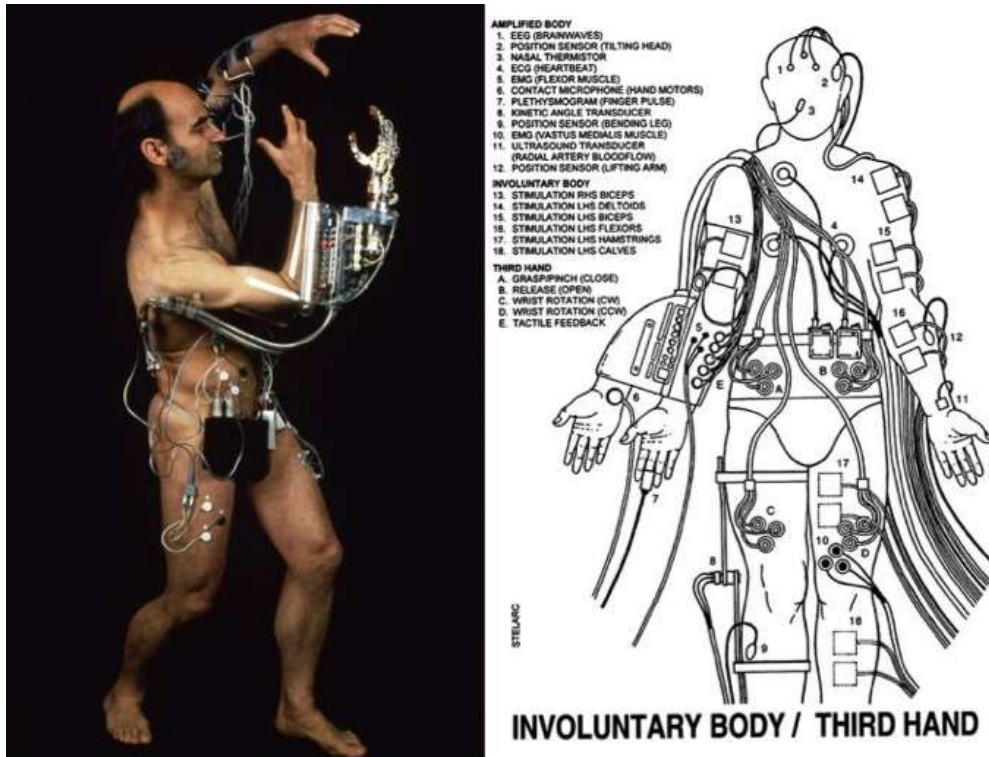
experiencia tiene como resultado imágenes oníricas que no se limitan a los sentidos, donde las nociones del espacio y el tiempo se relajan o se pierden. Este estado de actividad ha sido descrito como fase de sueño MOR (movimiento ocular rápido) debido a que se observa un movimiento en los ojos; este estado también ha sido llamado sueño paradójico pues la actividad eléctrica es similar a la del estado de vigilia. Se ha observado que el movimiento rápido de los ojos no es al azar sino que se mueven conforme a la trama onírica; la persona mueve los ojos de acuerdo a lo que “ve” en su sueño. Estos modelos de la realidad se pueden considerar realidades virtuales y son los que han llamado la atención a Rodolfo Llinás, por lo que ha imaginado el cerebro como una máquina de soñar cuya masa es de un kilo y medio y consume 14 vatios, la misma energía que necesita un foco doméstico ahorrador.

Y aunque la mera expresión del cerebro como una máquina de soñar es una construcción más literaria que científica, la analogía expresa la complejidad que subyace en el sistema nervioso y nuestros límites para comprenderla. Es posible reconocer que algunos avances de la investigación científica del cerebro y del desarrollo tecnológico nos han llevado a suponer que la naturaleza de la mente podría no ser exclusiva de los sistemas biológicos, pues el desarrollo de sistemas informáticos como la inteligencia artificial, la web semántica o la internet, plantea nuevas dudas acerca de la mente y nos acerca a soñar con máquinas que podrán soñar.

### **La obsolescencia del cuerpo**

Sterlac es un artista del performance nacido en Chipre y arraigado en Australia cuyas obras se centran en la idea de que el cuerpo humano es obsoleto y la fusión con las máquinas potenciará sus capacidades. En uno de sus performances se implantó una réplica de una oreja hecha con células humanas en su antebrazo izquierdo. La oreja artificial contenía un micrófono conectado a Internet para que cualquier persona pudiera escuchar lo que “oía” su antebrazo, Este proyecto (conocido como 1/4 ScaleEar) tuvo como objetivo enfrentar a la sociedad con las percepciones culturales de la creciente capacidad para manipular los sistemas vivos y los problemas éticos derivados de la creación de tejido vivo como prótesis en parte construida y en parte

viva. Al final se retiró dicho implante por complicaciones (se rumora que su esposa le pidió el divorcio).



Photographer: Simon Hunter

Fig. 2 Sterlac <http://stelarc.org/?catID=20265> ©Stelarc; fotografía Simon Hunter

La estética de Sterlac es protésica; un ser humano que esculpe su cuerpo con aparatos artificiales que otorgan nuevas capacidades: "la estructura fisiológica del cuerpo determina su inteligencia y sus sensaciones, y si se modifica esa estructura, se obtiene una percepción alterada de la realidad". Sterlac sueña con seres humanos esculpidos en forma de ciber-máquinas: "Un sistema fisiológico pan-planetario donde el cuerpo sería duradero, flexible y capaz de funcionar en condiciones atmosféricas diversas y en campos gravitatorios y electromagnéticos". Esto sería algo así como brazos robóticos que permitirían experimentar con el tacto asteroides u otros planetas por medio de la interconexión entre redes cibernéticas y la mente humana. Sterlac se basa en Marshall MacLuhan, un filósofo canadiense interesado en la sociedad de la información que tuvo la fantasía de un ser híbrido entre el ser humano y la máquina que desarrolla su existencia mediante la interconexión de superordenadores y otros

seres humanos. Sterlac se expresa así en [su sitio web](#): “Con el mapeo genético, las cirugías de reasignación de sexo, las prótesis de miembros y los implantes neurales, lo que es el cuerpo y lo que opera, se vuelve un problema; generamos carne fractal y carne fantasma”. Los fantasmas y las fantasías provienen del mismo verbo en griego, phanein, que quiere decir “aparecer”, ¿qué fantasmas aparecen con la tecnología?

Y aunque en un primer atisbo las ideas de Sterlac parecen descabelladas, lo cierto es que las prótesis que se desarrollan actualmente para tratar personas amputadas no sólo son robóticas y operadas por las ondas cerebrales, sino que también envían impulsos eléctricos a la corteza cerebral para que el movimiento incluya sensaciones de tacto como presión, temperatura y textura. El componente principal de la interface cerebro-computadora es el que establece la comunicación entre la prótesis robótica y el cerebro y tuvo su primer desarrollo teórico en 1970. A mediados de 1990 surgió la primera aplicación experimental que colocó por primera vez en la literatura científica la expresión de interface cerebro-máquina. El medio es el mensaje.

### **Los albores de la fusión de la máquina con el humano**

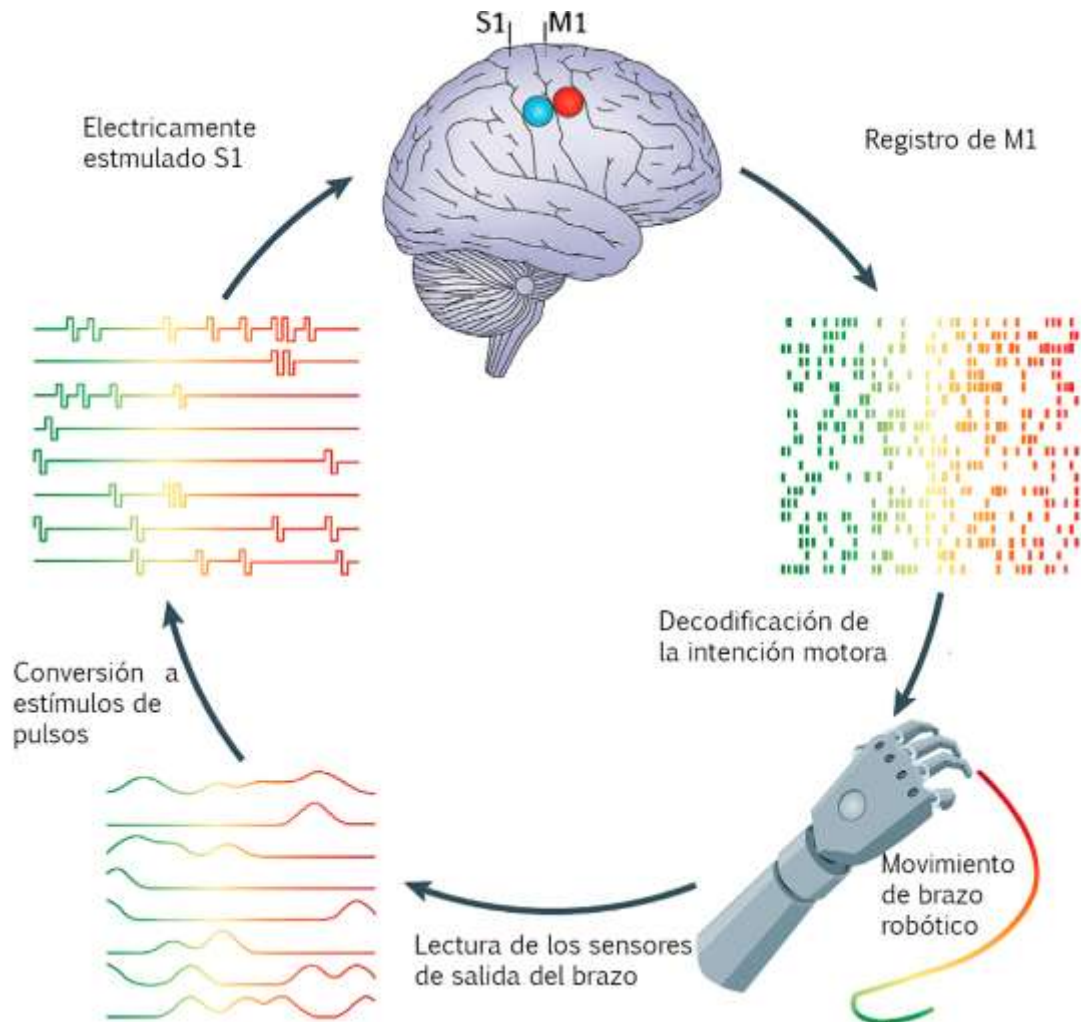
Las interfaces cerebro-máquina (BMI, o Brain-Machine Interface por sus siglas en inglés) utilizan sensores que registran las tormentas eléctricas que se producen en el cerebro y generan las instrucciones motoras que se envían por la médula espinal para mover, por ejemplo, un brazo. Estos sensores pueden leer cientos y cientos de células cerebrales simultáneamente y extraer las señales eléctricas para transformarlas en comandos digitales que cualquier máquina, dispositivo electrónico o virtual, puedan entender, de tal manera que si una persona imagina el movimiento de un brazo, el dispositivo “obedece” la instrucción del cerebro y mueve el brazo robótico.





Fig.3. Demostración del uso de prótesis robóticas; captura del video <https://youtu.be/xynE-43trQg>

Las Instituciones Nacionales de la Salud (NIH, por sus siglas en inglés) y la Agencia de Proyectos de investigación Avanzados de Defensa (DARPA, también en inglés) del gobierno de Estados Unidos de América se encuentran trabajando en el desarrollo de estos dispositivos con dos objetivos: restaurar y mejorar. Las intervenciones militares de EUA alrededor del mundo han dejado una estela de miles de personas con amputaciones de alguna de sus extremidades; del 2000 al 2011, cerca de 6,000 miembros de las fuerzas armadas estadounidenses resultaron amputados de algunas de sus extremidades durante operaciones militares, y con el uso de neuroprótesis están recuperando la funcionalidad de las extremidades perdidas.



**Fig 3.** Esquema que representa una interfaz cerebro-computadora usada para el control de una prótesis. Los correlatos neuronales de las intenciones motoras registradas a través de electrodos colocados en áreas motoras como la corteza primaria motora (M1); la señal se codifica y usa para dar movimiento a la prótesis robótica. Los sensores del brazo robótico detectan información del contacto y propiocepción; estas señales son convertidas en patrones de pulsos de estimulación sensorial y recibidas por electrodos colocados en regiones como la corteza primaria somatosensorial (S1). .J. Bensmaia y L.E. Miller, “Restoring sensorimotor function through intracortical interfaces: progress and looming challenges,” *Nature Reviews Neuroscience*, 2014, 15, p. 315. Copyright 2014 by Nature Publishing Group

Aunque estos dispositivos están aún en ciernes, hemos sido testigos de sus avances cuando en la inauguración de la pasada copa del mundial de futbol 2014, la primera patada la dio una persona parapléjica montada en un exoesqueleto robótico que se movía por medio de una interfaz máquina-cerebro.



Esta demostración es parte del proyecto “Caminar otra vez” de la Universidad de Duke, en Carolina del Norte, cuyo titular y fanático del fútbol, el brasileño Miguel Nicolelis, mira hacia un futuro próximo donde personas cuadripléjicas hagan uso de esta tecnología no solamente moviendo sus brazos y piernas para caminar otra vez, sino que vuelvan a sentir la textura de los objetos que pongan sobre la prótesis o sientan el relieve del suelo en el que se desplazan con la ayuda de su traje exoesquelético.



**Fig. 5** Juliano Pinto de 29 años, portando el traje exoesqueleto durante la demostración del proyecto “WalkAgain” en 2014. (fotografía: Agencia Estatal Brasileña)

Los recursos para la investigación y desarrollo de este proyecto provienen de la DARPA y no son solamente para la rehabilitación de soldados mutilados, sino que

también se usarán para el mejoramiento en el campo de batalla de soldados sanos. Por ejemplo, hacer que un soldado aprenda mucho más rápido que el promedio mediante *aprendizaje acelerado*, un método por el cual medidas fisiológicas como las del electroencefalograma (EEG), se correlacionan cuantitativamente con estados fisiológicos del aprendizaje y niveles de rendimiento como principiante, intermedio o experto, y que sirven como retroalimentación para el soldado para identificar los estados en los que aprende mejor.

También se encuentran desarrollando algoritmos computacionales que detecten patrones de actividad neuronal que doten de la retroalimentación necesaria y suficiente para acelerar la adquisición de nuevas tareas con desempeños elevados tanto a un nivel grupal como individual. La investigación para manipular los dispositivos abarca tanto estados de aprendizaje como emocionales. Sin embargo, primero se han de resolver algunos problemas como el mejoramiento de la resolución espacial y temporal, la detección de las señales cerebrales registradas y lograr técnicas no invasivas a bajo costo.



**Fig. 6.** Ejemplo de una gorra que registra las ondas cerebrales por medio de un electroencefalograma para el monitoreo de una cámara de vigilancia; la gorra en un BMI no invasivo. Tomado de (2014) DARPA-funded efforts in the development of novel brain-computer interface technologies.

Las técnicas invasivas logran detectar la señal de una sola neurona, lo que ofrece mayor precisión y resolución en las medidas, pero la complejidad quirúrgica con la que los electrodos son implantados dentro de la corteza cerebral, complica y compromete su uso. Por supuesto que una técnica no invasiva en la que el electrodo no atraviese la barrera craneal, es mucho mejor pero aún no se desarrollan dispositivos de bajo costo con una buena detección de las señales, pues la aplicación de un electroencefalograma mide poblaciones de miles de neuronas, medición imprecisa e inexacta. Otro problema es el desarrollo computacional de la “traducción” de las señales eléctricas del cerebro a señales digitales y algoritmos, y a la inversa. Finalmente, y en mi opinión, la gran duda, es si la información que procesa la mente humana se encuentra exclusivamente en el cerebro ¿o la mente es algo que se encuentra más allá de las barreras craneales del cerebro?

#### Posdata:

Deus ex machina (Dios a través de la máquina) se refiere al mecanismo de poleas usado en el teatro griego del cual descendía una divinidad que resolvía la trama y el desenlace de una tragedia.

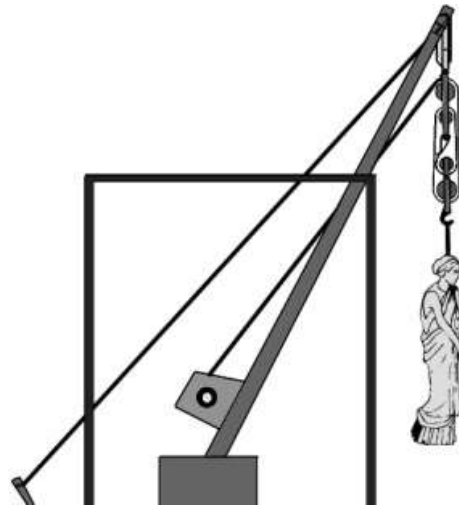


Fig. 7 Esquema que representa el dispositivo mecánico usado en el teatro griego (imagen: Arne Eickenberg).

#### Lecturas relacionadas en **Cienciorama**

- [¿Pueden pensar las máquinas?](#)

- [El mito de la caverna-cerebro](#)
- [De seres vivos a cyborgs](#)
- [La muerte de la muerte](#)

#### Lecturas recomendadas:

- Andersen, R. A., Musallam, S. y Pesaran, B. "Selecting the signals for a brain-machine interface"  
*Current Opinion in Neurobiology* 2004, 14, 720-726. doi:10.1016/j.conb.2004.10.005
- Miranda, R. A., Casebeer, W. D., Hein, A. M., Judy, J. W., Krotkov, E. P., Laabs, T. L., Ling, G. S. F.  
"DARPA-funded efforts in the development of novel brain-computer interface technologies",  
*Journal of Neuroscience Methods* 2014, doi:10.1016/j.jneumeth.2014.07.019
- Llinas R. *El cerebro y el mito del yo*, Norma, Colombia, 2003.
- Shokur, S., O'Doherty, J. E., Winans, J. A., Bleuler, H., Lebedev, M. A. y Nicolelis, M. a L,  
"Expanding the primate body schema in sensorimotor cortex by virtual touches of an avatar",  
*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2013 110(37), 15121-6. doi:10.1073/pnas.1308459110