

# D

## esarrollan modelos de impulsor para dispositivos de asistencia cardiaca (DAC)

Marta Eugenia Vilchez\*  
Gabriela Ortiz León\*\*

De acuerdo con la publicación *Indicadores Básicos de Costa Rica 2009*, el Ministerio de Salud indica que las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en el país, para adultos mayores de 30 años [1]. Frecuentemente las personas enfermas del corazón desarrollan insuficiencia cardiaca, caracterizada por el bombeo insuficiente de sangre para satisfacer las necesidades del cuerpo. Estudios españoles presentan una supervivencia de menos del 60 % a los cinco años después del diagnóstico de la insuficiencia [2]. Algunos de estos pacientes pueden ser candidatos a trasplante de corazón o al soporte con máquinas, denominados dispositivos de asistencia ventricular (VAD, por sus siglas en inglés).

Desgraciadamente no todos los pacientes son candidatos al trasplante y no hay suficientes órganos para todos los que los necesitan. Mientras se encuentra un donante que sea compatible, es posible utilizar los VAD como asistencia temporal o “puente a trasplante”, para brindar una condición de vida aceptable en la espera.



Marta Vilchez y Gabriela Ortiz.

## Apuntes perplejos

# La fuerza de lo frágil

Alfonso Chacón Rodríguez\*  
alchacon@itcr.ac.cr

Es quizás el problema más fascinante, y no en balde le llaman el “problema duro”: el de definir qué es la consciencia, si existe incluso. ¿Ilusión, simples procesos bioquímicos y bioeléctricos? ¿Alma y espíritu? La discusión es vasta, apabullante, contradictoria e incluso pasional entre religiosos, filósofos y neurocientíficos. Pero sin entrar mucho en ella ni cuestionar quiénes andan con más razón que otros, ¿no hay que admitirlo, que es cuestión de maravilla el que la materia pueda pensarse a sí misma?

Yo, particularmente, no creo mucho en eso de la superioridad humana sobre el resto de la naturaleza. Pienso que somos un accidente. Y que este accidente afortunado, producto de millones de años de evolución, es en este momento quizás el espejo más complejo que se ha inventado el universo para pensarse a sí mismo. Pero sé que esto a muchos les sonará a afrenta: es delicado tocar estos asuntos cuando aún nuestras herramientas para conocernos más y mejor son tan débiles y escasas. ¿Será que tantos años, como he escuchado por ahí, realmente le transforman a uno en cínico? Puede ser, pero prefiero la palabra “escéptico”. Y como escéptico, puedo entonces mirar la historia de nuestra especie y hacia adentro, y conjeturar que, en medio de todo lo especial que podemos considerarnos como seres auto-conscientes, no somos necesariamente los únicos que podrían poseer el don de la razón y la consciencia. Sin hablar de que, en algunas ocasiones, ese don parece más un castigo. Dice el filósofo John N. Gray, en varias de sus obras, que la singularidad humana viene más bien de la angustia que nos produce dicha autoconsciencia, y la problemática aún sin resolver que de ella hemos derivado: sobre la existencia o no de la autodeterminación o libre albedrío humano. Sin siquiera entrar en el problema de qué o

quién la puso ahí (si es que alguien o algo lo hizo, más allá del azar evolutivo).

Muchos autores recientes navegan por esas aguas: Sam Harris y Daniel Dennet son solo dos. Ambos, desde posturas diferentes, se enzarzan en discutir sobre la existencia o no de la consciencia y, por ende, de lo que de ella deriva: ¿somos seres realmente autónomos, en el sentido de decidir conscientemente sobre nuestros destinos? Gray entra en el debate desde una esquina: caen la mayoría de los filósofos actuales en la trampa de suponer la superioridad última de la consciencia y, por ende, de la razón. En libros como *El silencio de los animales*, Gray ya ha brillantemente cuestionado los hijos de las ideas falsas del progreso humano constante, de cómo el nuevo ateísmo no es más que el hijo bastardo de los antiguos sueños cristianos de redención. Y aunque lo considero algo injusto en sus ataques a Sam Harris —Harris ha sido quizás el más valiente de los nuevos ateos al pregonar que la espiritualidad no es algo carente de sentido, pues al fin y al cabo dichas sensaciones de trascendencia son productos de nuestra misma mente y, aunque se les tache de ilusión, no dejan como conceptos abstractos de afectarnos (en línea con las ideas de Joseph Campbell sobre la importancia del mito)—, concuerdo con Gray en que no se puede suponer a la humanidad como el pináculo de la evolución. Hacerlo, es seguir siendo víctima de las ensoñaciones creacionistas, con otro nombre.

Pero ya se ve que en algo emula Gray a Harris, al proponer la posibilidad evolutiva de la misma ciencia electrónica como continuidad de la evolución biológica (las líneas paralelas se me han entrecruzado bastante entre lo que ambos han escrito recientemente). Pero aquí veo que, al final, el mismo Gray socava en cierta manera su argumento, pues aunque pretende distanciarse de los futurólogos como Ray Kurzweil (que pretenden que pronto estaremos descargando nuestras

Otro uso de los VAD es servir de soporte mientras el corazón se recupera de alguna enfermedad; este uso se denomina “puente a recuperación”.

El objetivo de nuestra investigación es el desarrollo en Costa Rica de un dispositivo de asistencia autóctono, capaz de asistir las funciones del corazón mientras este se recupera, o bien, mientras es reemplazado por un órgano natural de donante.

Posteriormente, para llevar a cabo esta tarea se han planteado un conjunto de cinco proyectos de investigación enlazados, y cuya duración total es de 10 años, que permita la construcción de un prototipo funcional para pruebas “in vivo”, es decir, para pruebas en un ser vivo.

En los dos primeros proyectos de investigación se han desarrollado modelos matemáticos que permiten simular el comportamiento del sistema circulatorio de una persona sana, y que gracias a su configuración permiten emular condiciones fisiológicas presentes en diferentes tipos de enfermedades del sistema circulatorio humano; este emulador se presenta en la figura 1. Con este sistema podemos evaluar los primeros modelos de dispositivos de asistencia circulatoria antes de su construcción física.

Para poder diseñar mecanismos de impulsión de sangre, se desarrollan modelos matemáticos del comportamiento sanguíneo en diferentes condiciones de flujo, tanto laminar como turbulento, y que consideren las características fisiológicas particulares de la sangre humana.

Como un fluido vivo, las condiciones en las que la sangre se descompone deben ser evitadas a toda costa en un dispositivo de asistencia circulatoria. A partir de los modelos descritos anteriormente se estudia la interacción de la sangre con las partes móviles del impulsor y se evalúan las posibles consecuencias que el impulsor puede acusar en la sangre misma.

Una técnica de diseño en ingeniería, muy utilizada en casos donde no es posible encontrar una solución analítica cerrada a un problema generalmente complejo y del que no conocemos su comportamiento de manera perfecta, es la utilización de métodos numéricos de solución.

El diseño del impulsor, y su interacción con la sangre, se realiza con esta técnica de so-

ciencias en máquinas computacionales de gran capacidad y durabilidad: una especie de migración a un soporte físico más fuerte que nuestros débiles tejidos biológicos), hay también cierto menosprecio sobre las maravillas de la evolución biológica en su aparentemente opuesto discurso, aunque su tono sea más bien apocalíptico en contraposición con el futuro rosa de inmortalidad humana que persigue Kurzweil con su singularidad. Hay que ver esto con un poco de detalle. ¿Existirá la posibilidad de una inteligencia material no biológica? Harris también se apunta, cauteloso pero positivamente, en esa dirección. Si un trozo de materia pegajosa y suave ha logrado pensar, ¿por qué no otra configuración material? En esto coincide más con Gray, que también se declara ateo (y aquí aclaro, que un escéptico como yo no es necesariamente ateo, porque dudar significa no estar convencido en una u otra dirección, hasta no tener las pruebas contundentes del hecho que se afirma).

En principio, si recolectamos los hechos, pareciera que las bases para estas elucubraciones son sólidas. Tenemos máquinas que nos superan ya en muchos aspectos: fuerza de cálculo, velocidad y precisión de manobra, fortaleza física. Los robots y computadoras actuales son una maravilla de ingenio humano y un potencial competidor (piensen en Will Smith, en su versión de *Yo, Robot*: él también, ya es en sí un *cyborg*, y adentro suyo nace el temor de que la evolución parece ya dejarnos atrás a los simples humanos).

Pero, ¿no es quizás muy temprano, para desprestigiar a esa endeble y chiclosa materia? Podemos despreciar esa aparente fragilidad que nos limita a algunos años sobre este planeta, víctimas siempre de la intemperie y el universo. No hay que dejarse cegar por nuestro peor defecto, esa arrogancia que otorga a nuestra consciencia y razón, y a nuestros productos tecnológicos, la primacía. Esta arrogancia es la que nos lleva a despreciar millones de años de inteligencia evolutiva, aprendida a fuerza de las mutaciones, la experimentación natural y el azar. Un humano es ciertamente frágil como cualquier ser vivo. Y sin embargo, ¿quién no ha visto a una persona, por no decir un animal, una planta

misma, baldados de alguna de sus extremidades o algún órgano no vital, por no decir alguna supuesta discapacidad mental, y llevar sin embargo una existencia plena y funcional y, en muchos casos, excepcional? Nelson y Cervantes eran mancos, rengo Lord Byron, Hellen Keller ciega y sorda, y autista la fenomenal Dra. Temple Gradin. Aún con todas las loas que nos echamos encima por los objetos materiales que creamos, ninguno está cerca de la resiliencia y adaptabilidad que el material biológico posee. ¿Tratemos de hacer un auto funcionar sin una de sus ruedas!

Y lo mismo puede decirse de nuestros supuestos avances en la inteligencia artificial. La fuerza de las neuronas no está tanto en su número (que sí, podemos ya triplicar con los últimos procesos de transistores nanométricos), sino más bien en su capacidad e interconexión. Mil o más dendritas para una sola neurona, cien billones de interconexiones flexibles y adaptables para un cerebro medio según algunos cálculos (mil veces más que las estrellas existentes en la vía láctea), hacen ver ridículas a las si acaso millones de conexiones estáticas posibles entre dispositivos en un microprocesador de alta tecnología. Sin hablar de la plasticidad de cualquier cerebro, esa capacidad de rehacer sus conexiones según sus necesidades de aprendizaje, durante un tiempo de vida medio de 70 años o más. Comparemos el tiempo de vida media de un humano con el de un auto. Un chip no supera en promedio los diez años; fractura térmica, fatiga metálica, electromigración. Estamos lejos de los procesos reconstructivos continuos que mantienen a los sistemas biológicos a punto. No descartemos entonces tan rápidamente esta maravilla orgánica que somos y con la que nos conectamos con todo lo vivo y con nuestro mismo universo. Y quizás sí, entonces, algún día, descubramos que la consciencia existe. O tengamos la prueba del mismo Dios, pero no en la forma que lo imaginamos. Hay mucho que conocer allá afuera. ■

\*Profesor de la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Ingeniero en electrónica. Tiene una maestría en literatura inglesa y un doctorado en ingeniería con orientación electrónica.

lución numérica, mediante el método de *elementos finitos*, en el cual las estructuras y el fluido se descomponen en pequeños segmentos y las ecuaciones diferenciales que describen sus relaciones se resuelven en cada segmento, de manera que el comportamiento final se obtiene con la suma de todas las soluciones parciales en cada segmento. El movimiento de la sangre en el impulsor se describe mediante las ecuaciones de Navier-Stokes para marcos de referencia rotatorios y que consideran un fluido newtoniano e incompresible el régimen turbulento que se incluye al adicionar un modelo de turbulencia  $\kappa$ - $\epsilon$ .

Hasta el momento se han evaluado diferentes opciones geométricas de impulsores de eje central, y hemos podido establecer sus curvas de operación características y las relaciones entre el nivel de operación del impulsor y el daño que el impulsor crea en la sangre; por ejemplo, en la figura 2, donde se presenta el gráfico de presión en la estructura del impulsor, este tipo de gráfico permite determinar con precisión qué parte o partes del impulsor pueden ser mejoradas antes de su construcción. Estudios posteriores permitirán validar de manera experimental los modelos matemáticos ya descritos para poder optimizar el

sistema de impulsión. Para lograr este objetivo será necesario implementar un banco de pruebas que opere en condiciones de velocidad y presión de flujo de nivel fisiológico.

### Referencias

[1] Ministerio de Salud de Costa Rica. Indicadores Básicos de Costa Rica 2009. Situación de la salud en Costa Rica. 2009; 12-14.  
 [2] Almenar Bonet L, et al. Registro Español de Trasplante Cardíaco. XX Informe Oficial de la sección de Insuficiencia Cardíaca y Trasplante Cardíaco de la Sociedad Española de Cardiología. (1984-2008). Revista Española de Cardiología, 2009; 62 (11): 1286-89. ■

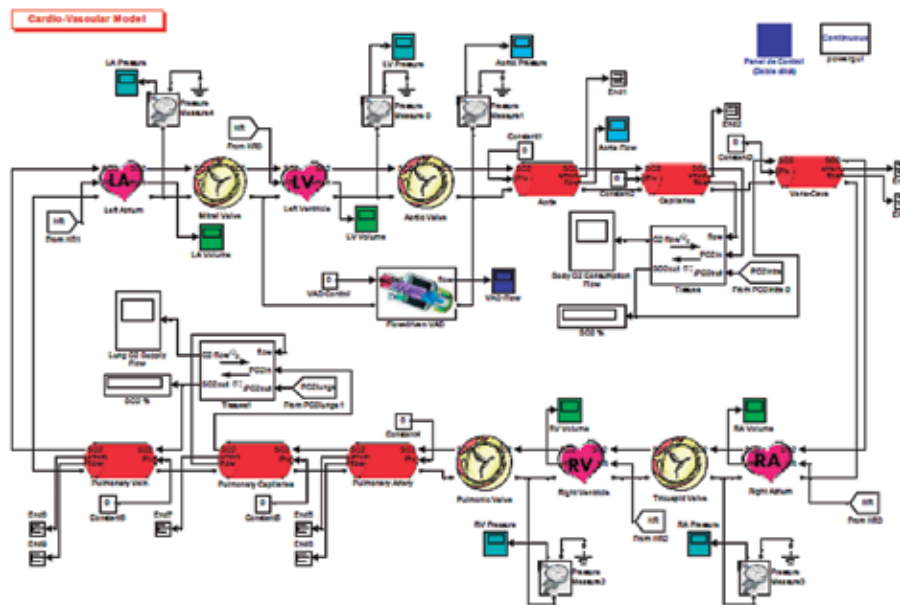


Figura 1: Circuito electrónico simulador del sistema circulatorio de una persona; permite hacer evaluaciones de diferentes tipos de impulsores y de diferentes enfermedades del corazón.

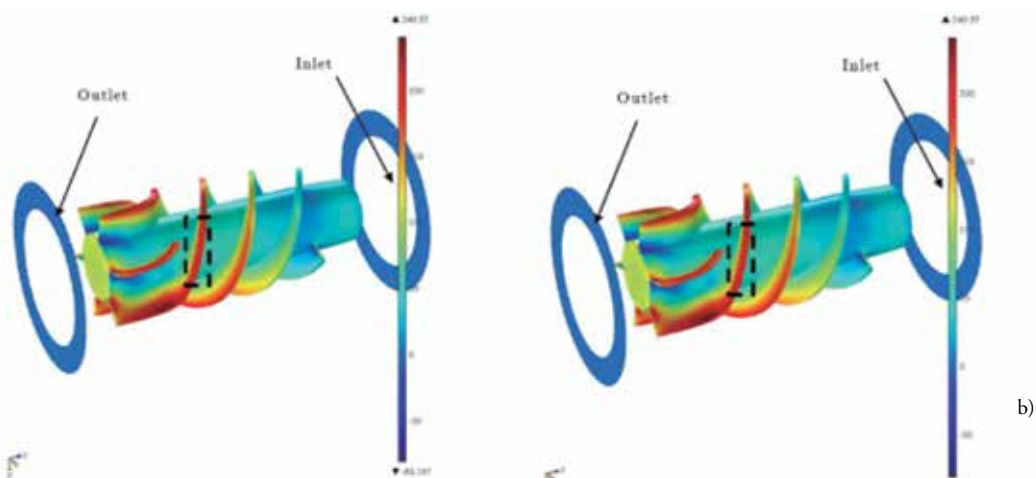


Figura 2: Gráfico de la presión a lo largo de las paredes del impulsor para a) 7 000 rpm y b) 10 000 rpm. El color es indicativo de la intensidad de la presión; estas figuras se utilizan para determinar qué partes del impulsor pueden mejorarse para lograr mejor desempeño.