

Estado del Arte: Corazones Artificiales

Orellana Calle Juan Diego
jorellanac@est.ups.edu.ec
Universidad Politécnica Salesiana
Carrera de Ingeniería Electrónica
Cuenca - Ecuador

20 de febrero de 2013

Resumen

En este documento se hace una revisión de la situación actual, historia y posible futuro de los dispositivos conocidos como corazones artificiales, se muestra su desarrollo a través de los años y al final se analizan varios factores, tanto económicos como éticos, que influirían en la calidad de vida de un paciente con un trasplante de este tipo.

Palabras Clave – Corazon Artificial, Historia, Situación Actual, Futuro, Factores Éticos y Económicos.

Abstract—In this paper we review the current status, history and possible future of the devices know as artificial hearts, it is shown its development through the years and finally discusses several factors, both economic and ethical, which would influence the quality of life of a patient with this type of transplantation.

Keywords – Artifical Hearts, History, Actual Situation, Future, Ethical and Economic Factors.

1. Introducción

Este documento pretende ser una revisión de la situación actual y futuro de un órgano artificial más específicamente, el corazón artificial. Un órgano artificial es un dispositivo hecho de materiales sintéticos el cual pretende substituir a un órgano biológico en un paciente, con estas invenciones se pretende disminuir la dependencia de la donación de un órgano biológico, lo cual en muchos casos es factor muy limitante y que reduce la expectativa de vida de las personas con enfermedades que provocan fallas masivas de órganos.[2]

A continuación se hará la revisión de la ciencia conocida como la bioingeniería, la cual engloba a estos dispositivos, para posteriormente pasar exclusivamente a la revisión de los aparatos conocidos como los corazones artificiales.

2. Bioingeniería

2.1. ¿Qué es la Bioingeniería?

De una forma muy general se podría decir que la Bioingeniería es un campo de la ingeniería que estudia e investiga la aplicación de principios y métodos, propios de las Ciencias Exactas, a la solución de problemas de las Ciencias Biológicas y Médicas.[20]

2.2. División de la Bioingeniería

La bioingeniería se divide en tres grandes áreas que cubren la totalidad de las aplicaciones que esta posee en la actualidad, estas áreas son:

2.2.1. Ingeniería Biológica

La ingeniería biológica es considerada como la más global y general de las divisiones de la bioingeniería, está en particular trata de descubrir nuevos fenómenos en los procesos biológicos y explicar más claramente los ya existentes.[20, 21]

2.2.2. Ingeniería Biomédica

Esta es un área más organizada orientada directamente al hombre, tiene la intención de realizar un control de las enfermedades lo que lleva a la investigación de nuevas soluciones a los problemas médicos actuales.[20]

En este documento se hará referencia exclusiva a esta área, en específico se tratará el tema de los corazones artificiales, el cual se desarrolla en las secciones siguientes.

2.2.3. Ingeniería Clínica

La ingeniería clínica está dirigida exclusivamente a los problemas asistenciales de salud, servicios de emergencia, etc. Esta área está integrada con la medicina y posee su misma jerarquía.[20, 21]

3. Corazones Artificiales

Desde los principios de la cirugía cardíaca ha surgido la necesidad de desarrollar un aparato que reemplace las funciones del corazón, el primer avance en este contexto fue la invención de circulación extracorpórea en 1953, a partir de ahora en este documento se hablará exclusivamente sobre el desarrollo y la situación actual de los corazones artificiales. La rama de la bioingeniería que engloba a estos dispositivos es la ingeniería biomédica, se hará un estudio de la definición, desarrollo actual y de las perspectivas futuras de estos aparatos.[1]

3.1. ¿Qué es un corazón artificial?

Un corazón artificial es una prótesis que se pretende implantar en un paciente humano con el fin de reemplazar temporal o permanentemente el corazón biológico.[18, 20]

3.2. Tipos de Corazones Artificiales

Los corazones artificiales se pueden clasificar de acuerdo a los siguientes criterios:[1]

3.2.1. Forma de funcionamiento

De acuerdo a su forma de funcionamiento los corazones artificiales se clasifican en pulsátiles y no pulsátiles, la principal diferencia radica en que los pulsátiles utilizan una membrana externa para bombear la sangre, cada vez que esta se contrae mientras que los no pulsátiles utilizan una bomba u otro medio que proporciona un flujo continuo de sangre.[1, 12]

3.2.2. Duración de su uso

Este criterio se refiere a si el dispositivo es de mediana, corta o larga duración, esto se refiere al tiempo en el que el aparato puede permanecer en el paciente antes de que este muera o que el dispositivo deba que ser cambiado, ha de recalcarse que hasta ahora el tiempo máximo que un paciente ha logrado sobrevivir con un corazón artificial ha sido de aproximadamente un año.[15, 1]

3.2.3. Magnitud del transplante

Esta categoría se refiere a si el corazón queda o no dentro del cuerpo del paciente, según esto pueden ser paracorpóreos, si el dispositivo queda fuera del cuerpo, o implantables.[1, 6]

3.2.4. Función biológica que reemplazan

De acuerdo a la función que reemplazan se pueden clasificar en:

- Corazón artificial total, este último reemplaza todas las funciones del corazón biológico del paciente además que requiere de la extracción del mismo para que este pueda ser implantado.[1, 7]
- Dispositivo de Asistencia Cardíaca, se trata de un dispositivo que solamente reemplaza las funciones de una sección del corazón del paciente, pudiendo tratarse de un ventrículo u otra área en particular.[1, 7]

3.3. Historia de los Corazones Artificiales

En 1953 durante la primera cirugía de corazón abierto el Dr. John Heysham Gibbon utilizó el primer dispositivo que podría considerarse como un corazón artificial, este se trataba de una máquina de asistencia cardio-pulmonar que el mismo había desarrollado. Esta invención sustituía plenamente las funciones del corazón y los pulmones, el dispositivo extraía la sangre del paciente, luego la oxigenaba y finalmente era devuelta al cuerpo de este último.[8, 15]

Para 1957 Tet Akutsu y Willem Kolff iniciaron un programa de investigación sobre un corazón artificial total en la clínica de Cleveland, en 1958 Domingo Liotta comenzó sus estudios sobre corazones artificiales totales y presentó su trabajo en 1961, Liotta describió el implante de tres tipos de corazón artificial total en perros, cada uno de los cuales utilizaba un tipo diferente de bomba para hacer circular la sangre entre estos se podía contar un motor eléctrico, una bomba rotatoria y una bomba neumática, cabe destacar que los dos primeros dispositivos nombrados eran implantables.[16, 11, 10]

En 1962 Liotta desarrollaría un sistema de asistencia ventricular, este era exclusivo para el ventrículo derecho, fue creado en la Baylor University College un instituto de Houston.[17]

En el año de 1963 Paul Winchell patentó el primer corazón artificial de invención propia, sin embargo más tarde cedería esta patente a la Universidad de Utah, años más tarde Robert Jarvik utilizaría este modelo para desarrollar uno de los corazones artificiales más populares hasta el momento el Jarvik-7.[9]

En abril de 1964 Denton A. Cooley y Domingo Liotta, realizaron el primer trasplante de un corazón artificial total a un hombre que había sufrido un infarto cardíaco, sin embargo este trasplante no era más que un método para ganar tiempo mientras se buscaba un sustituto biológico para el paciente. A pesar que el trasplante del corazón artificial fue un éxito, el paciente falleció cuando se le implantó el biológico, la causa de la muerte fue una infección provocada por hongos, el corazón artificial que se usó en la intervención puede ser observado en la figura 1.[3]

Michael DeBakey y Domingo Liotta en 1966, implantaron el primer dispositivo de asistencia ventricular clínico extracorpóreo, esto se hizo en el hospital Metodista de Houston, Texas, cabe recalcar que el paciente desarrolló complicaciones cardio-pulmonares tras la cirugía y murió a los pocos días de realizado el trasplante. En octubre del mismo año se practicó otra cirugía utilizando este mismo dispositivo, sin embargo esta vez el aparato tuvo éxito ya que el paciente fue dado de alta los diez días.[3, 15]

En la década de 1970 se desarrollaron un sinnúmero de dispositivos de asistencia ventricular, esto inspiraría al Dr. Robert Jarvik que para el año de 1972

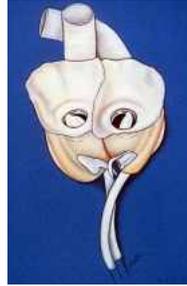


Figura 1: Corazón Artificial desarrollado por Domingo Liotta [9]

había desarrollado su primer prototipo de lo que sería un corazón artificial totalmente implantable, el Jarvik-3. Este dispositivo estaba construido de aluminio, plástico y poliéster, pruebas preliminares de este dispositivo hechas en vacas demostraron que estas podían vivir hasta cuatro meses con una mínima o ninguna intervención médica.[9]

En 1976 el Dr. Jarvik había mejorado su diseño para convertirlo en el Jarvik-7, ver figura 2, un dispositivo que se asemejaba mucho a un corazón biológico, este utilizaba dos cámaras que hacían las veces de ventrículos y permitían bombear la sangre a través de dos tubos conectados a dichas cámaras, sin embargo la innovación más destacable del Jarvik-7 fue el recubrimiento interno del dispositivo ya que este permitía una mejor circulación del flujo sanguíneo además del crecimiento de tejido alrededor del corazón artificial, para el año de 1981 este prototipo sería aprobado para su trasplante en humanos y un año más tarde se trasplantaría en un paciente de 61 años de edad, este trasplante fue efectivo durante 112 días antes de la muerte del paciente.[14, 9, 15]

A pesar de que el Jarvik-7 demostró ser útil como un corazón artificial fue prohibido como trasplante permanente ya que los pacientes solamente sobrevivían un periodo inferior a 6 meses con el dispositivo, sin embargo en 1994 los dispositivos de asistencia ventricular fueron aprobados por la FDA¹, como un medio para permitir la recuperación de un paciente con falla cardiaca.[9]

En el año 2001 la empresa AbioMed desarrolló un nuevo prototipo de corazón artificial denominado AbioCor, este se implantó en varios pacientes llegando a mantener uno con vida hasta por un periodo máximo de 17 meses, posteriores desarrollos llevaron a la empresa CardioWest, en 2004, a diseñar y trasplantar con éxito un corazón artificial, el cual ha demostrado ser el más eficaz hasta el momento ya que la tasa de los pacientes que sobrevivieron a la intervención quirúrgica es del 71 %, frente al 31 % de otros aparatos, además la esperanza de vida de un paciente con este dispositivo a un plazo de 5 años se ha demostrado

¹Food and Drug Administration: Entidad del gobierno estadounidense encarga de la regulación de alimentos, suplementos alimenticios, medicamentos, etc.

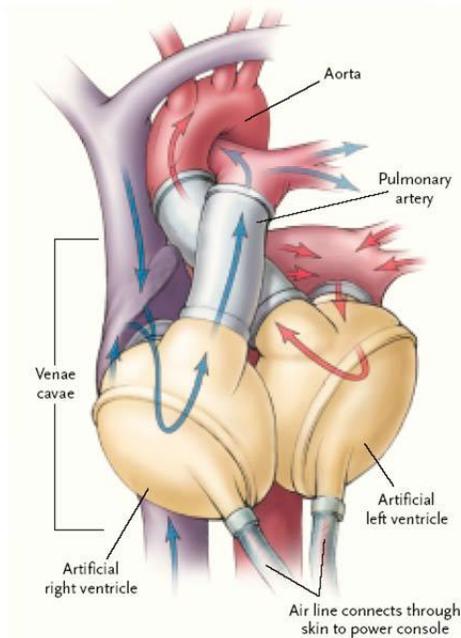


Figura 2: Jarvik-7 [9]

que es del 64 %.[4, 9]

Debido al desarrollo del corazón artificial de AbioMed, en 2006 fue aprobado por la FDA para ser utilizado como trasplante en pacientes que no sobrevivirían más de un mes sin una intervención quirúrgica de este tipo.[9]

3.4. Funcionamiento de un Corazón Artificial

Debido a la cantidad de dispositivos existentes en la actualidad, se tratará únicamente sobre los corazones artificiales de la marca AbioCor ya que estos son totalmente implantables y no requieren de asistencia externa para su correcto funcionamiento, una imagen de este dispositivo puede ser visto en la figura 3.

El AbioCor tiene cavidades que se asemejan a la aorta y a la vena cava, estas cavidades se encuentran a la derecha y a la izquierda del dispositivo. La sangre oxigenada por este dispositivo fluye hacia la cámara izquierda de donde sale hacia el cuerpo, mientras que por la cavidad derecha entra la sangre venosa, que posee un alto contenido de dióxido de carbono. [7, 9]

Entre las cavidades que conforman el Abiocor se encuentran los mecanismos que funcionan de manera análoga a las partes del corazón, haciendo los movimientos de contracción y dilatación. En el mecanismo anteriormente descrito existe un motor que gira a una velocidad de entre 5000 y 9000 revoluciones por

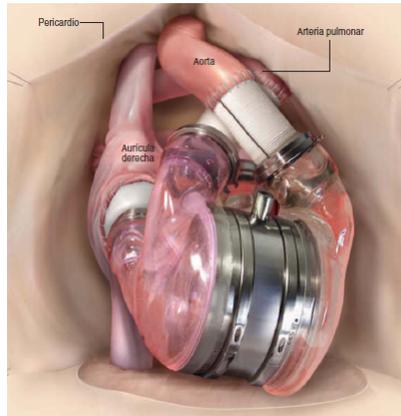


Figura 3: Corazón Artificial AbioCor [7]

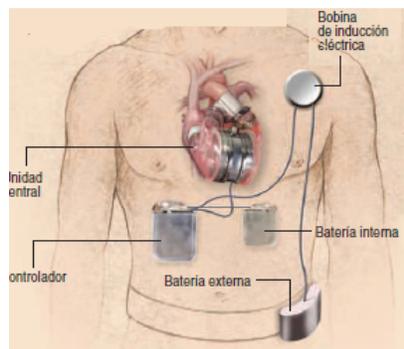


Figura 4: Corazón AbioCor implantado en un paciente [7]

minuto, este motor bombea un fluido el cual hace que las cámaras se dilaten alternadamente, mientras que un segundo motor controla la apertura y cierre de las válvulas, es decir cuando la cavidad izquierda se dilata el segundo motor abre la cavidad izquierda y deja fluir la sangre al cuerpo, adicional a esto la cavidad derecha se contrae absorbiendo la sangre venosa, para luego oxigenarla y posteriormente repetir el ciclo anteriormente descrito.[7, 9]

Este dispositivo pesa alrededor de un kilogramo y consume 20 vatios de potencia, el sistema obtiene su energía a partir de dos baterías, que se encuentran en un cinturón que el paciente carga consigo, los únicos dispositivos para corpóreos de este corazón artificial son un set de cables que sirven a modo de alimentación y como control de datos obtenidos del aparato, este dispositivo también posee un set de baterías internas que se implantan en el paciente para ser utilizadas en caso de emergencia, véase la figura 4. [7, 9]

3.5. Situación Actual y Perspectivas Futuras

Como ya se ha mostrado anteriormente los dos corazones artificiales que destacan de entre el resto son el CardioWest y el AbioCor, de los cuales solo este último es totalmente implantable y no requiere de una bomba neumática externa para bombear la sangre, esto lleva a varios inconvenientes que afectan especialmente la calidad de vida del paciente trasplantado, ya que este siempre necesita de una fuente de alimentación ya sea a través de baterías o de alguna otra fuente externa.[9, 5, 22]

Es de destacar la participación de Hiroaki Harasaki de la Cleveland Clinic el cual desarrolló dos mejoras importantes para estos dispositivos. La primera es el desarrollo de una película que atenúa la coagulación alrededor del órgano artificial y reduce el rechazo del paciente al implante, mientras que la segunda innovación se trata de una fuente de energía interna que produce poca cantidad de calor la cual es insuficiente para dañar a los otros órganos.[9, 5]

El desarrollo futuro de estos dispositivos apunta a la creación de un dispositivo, que sea totalmente implantable y que no requiera de fuentes de energía externa para su funcionamiento, de esta manera se mejoraría la calidad de vida del paciente con el trasplante, además se están haciendo grandes esfuerzos para desarrollar un modelo matemático que permita modelar los movimientos del corazón de una manera más efectiva y así diseñar e implementar un corazón artificial más práctico, también se está investigando el desarrollo de un dispositivo que permita realizar el control de las funciones cardiovasculares de un paciente con un trasplante de este tipo.[19, 22, 13]

4. Conclusiones

El desarrollo de un corazón artificial es un gran avance en la medicina y la ingeniería biomédica, es de destacar el rápido proceso de desarrollo que estos dispositivos han tenido a lo largo de los últimos 50 años, actualmente las limitaciones que tienen estos dispositivos son el desarrollo de mecanismos que permitan bombear la sangre de una manera más efectiva, ocupando menos espacio y peso, todo esto con el fin de hacer el corazón totalmente trasplantable ya que esto mejoraría en gran cantidad la calidad de vida del paciente.

Actualmente la calidad de vida de los pacientes con un trasplante de este tipo es muy pobre ya que necesitan estar la mayoría del tiempo conectados a dispositivos que les proporcionen la energía necesaria para poder bombear la sangre, ya sean estos de tipo neumático o eléctrico. También se apunta al desarrollo de nuevos materiales más resistentes los cuales prolonguen la vida útil de estos dispositivos y al desarrollo de modelos matemáticos que representen a un corazón humano y permitan de esta manera construir un mejor y más efectivo corazón artificial.

Estos dispositivos han probado ser efectivos para el trasplante temporal mientras se espera la donación de un nuevo órgano biológico para trasplantar

al paciente, se debe tener precauciones y sobre todo estar guiado por la ética para decidir cuándo es necesario realizar un trasplante de corazón artificial a un paciente ya que esto conlleva un riesgo de muerte para el paciente, además también entra en juego el factor económico ya que esto limitaría en gran medida el número de pacientes que puedan acceder a este tipo de cirugías.

Referencias

- [1] P. Becker. El corazón artificial. *Boletín Escuela de Medicina U.C.*, 32(1):1–4, 2007.
- [2] C. K. Colton. Implantable biohybrid artificial organs. *Cell transplantation*, 4(4):415 – 436, 1995.
- [3] D. A. Cooley, D. Liotta, G. L. Hallman, R. D. Bloodwell, R. D. Leachman, and J. D. Milam. Orthotopic cardiac prosthesis for two-staged cardiac replacement. *The American journal of cardiology*, 24(5):723 – 730, 1969.
- [4] J. G. Copeland, R. G. Smith, F. A. Arabia, P. E. Nolan, V. K. Mehta, M. S. McCarthy, and K. A. Chisholm. Comparison of the CardioWest total artificial heart, the Novacor left ventricular assist system and the Thoratec ventricular assist system in bridge to transplantation. *The Annals of thoracic surgery*, 71(3):S92 – S97, 2001.
- [5] L. P. Dasi, H. A. Simon, P. Sucusky, and A. P. Yoganathan. Fluid mechanics of artificial heart valves. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 36(2):225 – 237, 2009.
- [6] W. C. DeVries, J. L. Anderson, L. D. Joyce, F. L. Anderson, E. H. Hammond, R. K. Jarvik, and W. J. Kolff. Clinical use of the total artificial heart. *New England Journal of Medicine*, 310(5):273 – 278, 1984.
- [7] S. Ditlea. Exitos y limitaciones de un corazón artificial. *Investigación y ciencia*, page 47, 2002.
- [8] J. H. Gibbon, D. C. Sabiston, et al. *Gibbon’s Surgery of the Chest*. 1976.
- [9] R. Hajar et al. The artificial heart. *Heart Views*, 8(2):70, 2007.
- [10] C. W. Hall, W. W. Akers, W. O’Bannon, D. Liotta, and M. E. DeBakey. Intra-ventricular artificial heart. *ASAIO Journal*, 11(1):263 – 264, 1965.
- [11] C. S. Houston, T. Akutsu, and W. J. Kolff. Pendulum type of artificial heart within the chest: Preliminary report. *American heart journal*, 59(5):723 – 730, 1960.
- [12] K. Imachi, T. Chinzei, Y. Abe, K. Mabuchi, K. Imanishi, T. Yonezawa, A. Kouno, T. Ono, K. Atsumi, T. Isoyama, et al. A new pulsatile total artificial heart using a single centrifugal pump. *ASAIO transactions*, 37:M242 – M243, 1991.

- [13] C. Jaesoon, J. W. Park, C. Jinhan, and B. G. Min. An intelligent remote monitoring system for artificial heart. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 9(4):564 – 573, December 2005.
- [14] L. D. Joyce, W. C. DeVries, W. L. Hastings, D. B. Olsen, R. K. Jarvik, W. J. Kolff, et al. Response of the human body to the first permanent implant of the Jarvik-7 total artificial heart. *Transactions-American Society for Artificial Internal Organs*, 29:81, 1983.
- [15] W. J. Kolff, T. Akutsu, B. Dreyer, and H. Norton. Artificial heart in the chest and use of polyurethane for making hearts, valves and aortas. *ASAIO Journal*, 5(1):298 – 303, 1959.
- [16] D. Liotta. *Ablation expérimentale et remplacement du coeur par un coeur artificiel intra-thoracique*. 1961.
- [17] D. Liotta, C. W. Hall, W. S. Henly, D. A. Cooley, E. S. Crawford, and M. E. DeBakey. Prolonged assisted circulation during and after cardiac or aortic surgery: Prolonged partial left ventricular bypass by means of intracorporeal circulation. *The American journal of cardiology*, 12(3):399 – 405, 1963.
- [18] G. Messadié and A G. Laurel. *Los grandes inventos del mundo moderno*. Alianza Editorial, 1996.
- [19] A. Platis and D. F. Larson. CardioWest temporary total artificial heart. *Perfusion*, 24(5):341 – 347, 2009.
- [20] J. M. Poblet. *Introducción a la Bioingeniería*. Marcombo, 1988.
- [21] J. S. Schultz and V. G. J. Rodgers. Engineering Excellence in Breakthrough Biomedical Technologies: Bioengineering at the University of California, Riverside. *Pulse, IEEE*, 3(4):30 – 34, July 2012.
- [22] M. S. Slaughter and T. J. Myers. Transcutaneous energy transmission for mechanical circulatory support systems: History, current status, and future prospects. *Journal of cardiac surgery*, 25(4):484 – 489, 2010.

Biografía del Autor:



Juan Diego Orellana Calle
 Actualmente cursando el tercer año de
 Ingeniería Electrónica en la Universidad
 Politécnica Salesiana
 Telf: 0986334221