

Impresión 3D de estructuras cardíacas: Caso de innovación frugal en sector salud

3D printing of cardiac structures: a case of frugal innovation in the health sector

Victor Arias, Ing^{1*}, Julio Contreras-Velásquez, MgSc, PhD(c)¹, José Chacón, MgSc, PhD¹, Miguel Vera, MgSc, PhD^{1,2}, Yoleydy Huerfano, MgSc², Modesto Graterol-Rivas, MgSc, PhD², Sandra Wilches-Duran, MgSc, PhD(c)¹, Joselyn Rojas, MD, MgSc^{3,4}, Carlos Garicano, MD¹, Maricarmen Chacín, MD, MgSc³, Valmore Bermúdez, MD, MPH, MgSc, PhD³

¹Grupo de Investigación Altos Estudios de Frontera (ALEF), Universidad Simón Bolívar, Cúcuta, Colombia.

E-mail de correspondencia: investigadorcucuta@unisimonbolivar.edu.co, blasco_23@hotmail.com*

²Grupo de Investigación en Procesamiento Computacional de Datos (GIPCD-ULA) Universidad de Los Andes-Táchira, Venezuela.

³Centro de Investigaciones Endocrino-Metabólicas "Dr. Félix Gómez" Facultad de Medicina. Universidad del Zulia., Venezuela.

⁴Pulmonary and Critical Care Medicine Department. Brigham and Women's Hospital. Harvard Medical School. Boston, MA, USA 02115.

⁵Centro de Estudios de la Empresa. Universidad del Zulia, Venezuela.

Resumen

Las personas de la base de la pirámide han sido una población históricamente excluida por los modelos tradicionales de servicios de salud, por ser personas con bajo poder adquisitivo. Buscando una mayor inclusión social, académicos, emprendedores y grandes corporaciones inician a explorar una nueva forma de ofrecer productos y servicios, conocida como innovación frugal, donde la capacidad inventiva y un buen conocimiento de los clientes o usuarios, hacen que los productos, servicios, procesos y modelos de negocio ofrezcan asequibilidad con un alto valor agregado, bajo condiciones de escasos recursos. El artículo presenta como caso de estudio el proceso de impresión 3D de estructuras cardíacas a partir de imágenes tomográficas segmentadas. El principal hallazgo es que el uso de una impresora 3D de tipo RepRap delta lineal permite obtener una versión física de secciones del corazón, para ayudar en el diagnóstico de enfermedades, convirtiéndose en una opción que se adapta a las necesidades de asequibilidad en salud que exigen los países en desarrollo.

Palabras clave: impresión 3D, innovación frugal, base de la pirámide, segmentación.

Abstract

The people at the base of the pyramid have been a population historically excluded by the traditional models of health services, since they are people with low purchasing power. In search of greater social inclusion, academics, entrepreneurs and large corporations begin to explore a new way of offering products and services, known as frugal innovation, where inventive capacity and good knowledge of customers or users, make products, services, Processes and business models offer affordability with high added value, under conditions of scarce resources. The article presents as a case study the process of 3D printing of cardiac structures from segmented tomographic images. The conclusion is that using a 3D RepRap linear delta type printer allows obtaining a physical version of sections of the heart to aid in the diagnosis of diseases, becoming an option that adapts to the health affordability needs they require developing countries.

Keywords: 3D printing, frugal innovation, base of the pyramid, segmentation.

La base de pirámide (BoP) es definida por¹ como la población compuesta por los 4.000 millones de personas en el ámbito mundial que vive con menos de dos dólares diarios. Según World Resources Institute se estima un valor de aproximadamente 5 billones de dólares (US \$) en paridad de poder adquisitivo para esta población². América Latina tiene 360 millones de personas en la base de la pirámide y corresponde al segundo mercado en términos de ingreso, con una cifra cercana a los \$510 mil millones de dólares³.

A pesar de sus bajos ingresos, ser creativo con lo poco ha sido parte de la vida diaria de esta población, ya que no sólo se preocupan por satisfacer sus necesidades básicas^{4,5}, sino también requieren de productos de alta calidad que puedan resolver sus problemas y mejorar su calidad de vida⁶.

Los dispositivos tecnológicos médicos, que hacen uso del conocimiento y los recursos existentes son una de las variables que han hecho mejorar continuamente al sector salud en los últimos años⁷, sin embargo, la tecnología y el conocimiento, por sí solos, no son suficientes para satisfacer la demanda de salud, es así, como surge la necesidad de un estudio de las necesidades sociales y las restricciones en la BoP, que integrados a la tecnología y el conocimiento, desarrollan nuevos productos que pueden ser implementados de manera exitosa en dicho mercado⁸; pero, ¿cómo pueden estos tipos de innovaciones tecnológicas en el sector salud adecuarse a la población de la BoP?

Inicia entonces una propuesta desde un enfoque diferente, la innovación frugal, donde la asequibilidad, fabricación, y uso de materiales de bajo costo, junto con diseños enfocados en la funcionalidad básica y características óptimas mínimas, aparecen como aspectos claves, convirtiendo las limitaciones financieras, de materias primas e institucionales, así como, los ambientes hostiles, en una ventaja para incrementar el acceso a productos y servicios para esta población existente, pero poco atendida⁹.

Ahora que el enfoque frugal se está aplicando a la medicina y la ciencia con la llegada de los dispositivos hechos a partir de materiales económicos que son fáciles de ensamblar y reparar. Es posible una alternativa a los equipos actuales que en la mayoría de los casos se hacen para países desarrollados, siendo no funcionales en países en desarrollo⁷.

El objetivo de la innovación frugal inicia por reducir significativamente el costo de productos y servicios sin comprometer la calidad, a través del uso mínimo de recursos durante el diseño, desarrollo y etapas de producción¹⁰. El resultado puede contribuir con la mejora de la calidad de vida de las personas de la BoP al permitirles además dise-

ñar y mantener su propia tecnología médica¹¹.

El artículo muestra una descripción de la innovación frugal a partir de múltiples definiciones y enfoques, sus aplicaciones más relevantes en el sector salud, Los factores de diseño que hacen que estas aplicaciones sean exitosas y cuáles son los actores que puede desarrollar este modelo. El objetivo principal es un estudio de caso basado en la impresión 3D para reconstruir modelos físicos de secciones cardiacas segmentadas para futuros diagnósticos de enfermedades del corazón.

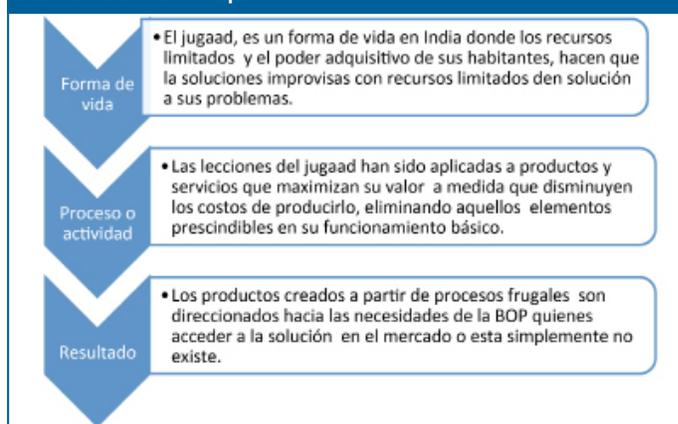
Este artículo está organizado con la siguiente estructura: la sección 1 muestra una definición de la innovación frugal; la sección 2 muestra los tipos de innovación frugal en medicina junto con sus principales aplicaciones; por último, la sección 3 analiza cómo el diseño de una impresora 3D delta lineal tiene características que la hacen una innovación frugal además de ser de gran utilidad al imprimir secciones cardiacas segmentadas mediante técnicas de inteligencia artificial.

Orígenes y definición de la innovación frugal

El término innovación frugal era desconocido para el 2008, gran parte de las investigaciones han sido muy limitadas en su marco teórico, la razón es que los primeros esfuerzos han estado encaminados a mostrar la importancia del fenómeno, otra razón no menos importante, es que para proporcionar fundamentos teóricos es necesario una masa crítica de artículos publicados, la cual aún no ha sido cubierta por autores^{12,13}.

Etimológicamente, la palabra frugal tiene su origen en la palabra latina de mediados del siglo XVII, frugalis, Que significa producto extraído de la tierra como contrario a lo sofisticado. El diccionario de la RAE define frugalidad como moderación o sobriedad con respecto al dinero o a la comida, En un sentido más amplio, se podría definir desde un punto de vista tipológico, donde en un nivel básico sea visto como una forma de vida para algunas comunidades, en un nivel intermedio o de actividad sea visto como un proceso, y por último un nivel de consecuencias o resultados, se manifieste como un producto o servicio¹⁴. La **Figura 1** muestra la arquitectura tipológica.

Figura 1. Tipología que muestra a la innovación frugal como una estructura multi-etapa



Dada la complejidad en el cambio de paradigma¹⁵, establece que las más intrincadas capacidades técnicas y organizacionales son requeridas para la innovación frugal, por el contrario⁹, da más importancia en el hacer «más con menos», es decir, soluciones rápidas lo suficientemente buenas para cubrir las necesidades planteadas.

Dada esta ambigüedad, una definición clara y que va en la misma línea que⁹ es dada por^{16,17,18}, aborda el concepto desde un enfoque inclusivo que maximiza el valor para los consumidores, accionistas, y la sociedad mientras reduce significativamente el uso de recursos financieros, humanos y naturales en países en desarrollo, esto se logra, redefiniendo los modelos de negocio, reconfigurando las cadenas de valor e ideando nuevos productos que suplan necesidades de personas en la BoP teniendo en cuenta su contexto.

Tipos de innovaciones frugales en salud

Las innovaciones frugales pueden dividirse dependiendo de la características de la invención o quien la genere^{19,20}, establecen sub-tipos de innovación frugal en medicina, divididas dependiendo del nivel tecnológico y quien la produzca (ver **Figura 2**).

Figura 2. Tipología que muestra a la innovación frugal como una estructura multi-etapa



Técnicas y herramientas Lean

Con el fin de reducir costos y aumentar accesibilidad, las técnicas y herramientas Lean usan versiones más simples y adaptables de técnicas y dispositivos existentes manteniendo o incluso mejorando la calidad, un ejemplo de un dispositivo es el MAC i (ver **Figura 3**), un electrocardiograma barato y durable, que se reduce a su funcionalidad básica, además de su portabilidad ideal para sectores rurales²¹.

Las técnicas Lean además han permitido innovar en el modelo de negocio del sector salud en algunos hospitales de la india, tal es el caso de la red de hospitales de oftalmología Aravind, quienes atienden a la mayoría de sus clientes de forma gratuita o subsidiado en parte, esto gracias a la disminución de los costos de procedimiento e incremento de la productividad, otro caso es el Narayana Hrudayalaya que se especializa en cardiología y brinda igualmente servicios de calidad para la BoP²².

Figura 3. GE MAC i, ECG portable
Fuente: <http://www3.gehealthcare.in/en/products/categories/diagnostic-ecg/resting/mac-i>



Soluciones oportunistas

Es en este contexto donde ingresan las impresoras 3D al campo de la cardiología (aunque bien pueden ser en otras áreas), este tipo de innovación frugal, usa tecnologías modernas existentes de bajo costo y masificada y las usa para dar solución a problemas existentes en campos para lo que en un principio no fueron desarrolladas.

Como ejemplo se encuentra la <<bestia>> cyborg una prótesis de miembro superior para niños hecha a la medida por impresión 3D tal como se muestra en la **Figura 4**, teniendo en cuenta el ajuste de distancia, esta es una alternativa de bajo costo y altamente personalizable, para países con acceso limitado a proveedores de este tipo de dispositivos²³.

Figura 4. Mano protésica impresa en 3D
Fuente: <https://www.flickr.com/photos/fdaphoos/18306292659>



Adaptaciones al contexto de uso

A diferencia de nuestro apartado anterior, aquí se habla de hackear materiales de fácil adquisición con el fin de adaptarlos a un uso diferente en un contexto de recursos limitados.

Como ejemplos se encuentra el taladro quirúrgico para hospitales con recursos limitados, el cual en países desarrollados puede costar tanto como un carro, este hace uso

de un taladro común que tiene el mismo torque y velocidad de rotación que los taladros de cirugía, con una doble cubierta estéril, hecha de tela y acero de grado médico (ver **Figura 5**), el resultado es un rendimiento igual, pero a un costo mucho más bajo, que ha permitido realizar operaciones ortopédicas seguras en países como Uganda y Siria²⁴.

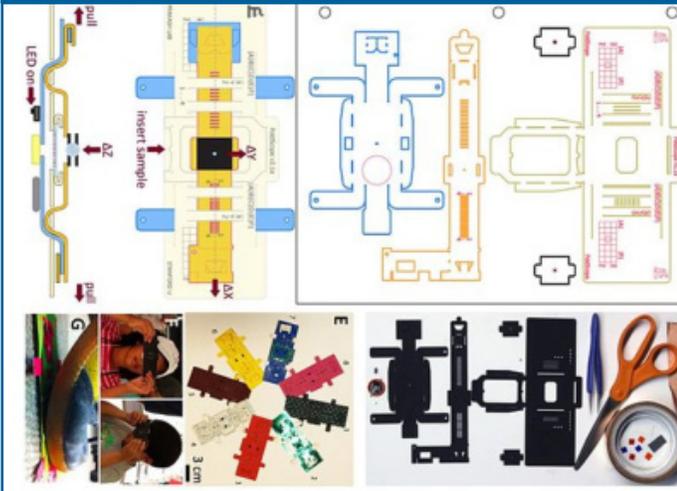
Figura 5. El taladro quirúrgico frugal.
Fuente: (24)



Innovación en la BOP

Uso de un enfoque nuevo y de baja tecnología para obtener resultados que anteriormente no podían ser alcanzados. Un ejemplo es el Foldscope un microscopio de papel que combina principios de óptica y origami (ver **Figura 6**), su resistencia al agua y código de colores facilita su uso en zonas con restricciones de ambiente y conocimientos, al armarse este puede magnificar una imagen 3000 veces, con una resolución lo suficiente buena para ver el parásito de la malaria en una muestra de sangre o el Trypanosoma cruzi causante de la enfermedad del sueño²⁵.

Figura 6. Diseño, componentes y usos del Foldscope
Fuente: (26)



Imágenes cardiacas segmentadas impresas en 3D como solución oportunistada nacida de una herramienta lean

Aunque la primera impresora 3D (3DP) aparece a mediados de los 80²⁷, dos sucesos la llevaron a convertirse en una innovación disruptiva muy popular^{28,29}, el primero, el

vencimiento de la patente para tecnología de Modelado por Deposición Fundida FDM³⁰, y segundo, el movimiento Open Source como nuevo paradigma en el desarrollo de proyectos tecnológicos³¹.

La impresora 3DP de bajo costo obligó a muchos a repensar el modelo de negocio que involucra esta tecnología. Actualmente se piensa en un nuevo enfoque de manufactura distribuida, donde las personas desde sus hogares pueden diseñar y construir utensilios domésticos de buena calidad y bajo costo, según sus propias necesidades^{32,33}.

Los trabajos de un académico inglés Adrian Bowyer, sienta las bases del movimiento de Prototipado Rápido Replicable RepRap, diseñando un constructor universal Newman, como máquina de prototipado rápido que puede copiarse a sí misma basada en tres aspectos: el número de ellas en existencia y la riqueza que producen pueden crecer exponencialmente; la máquina se convierte en sujeto en evolución por selección artificial; la máquina crea riqueza con una intervención mínima de manufactura industrial³⁴.

Resultados

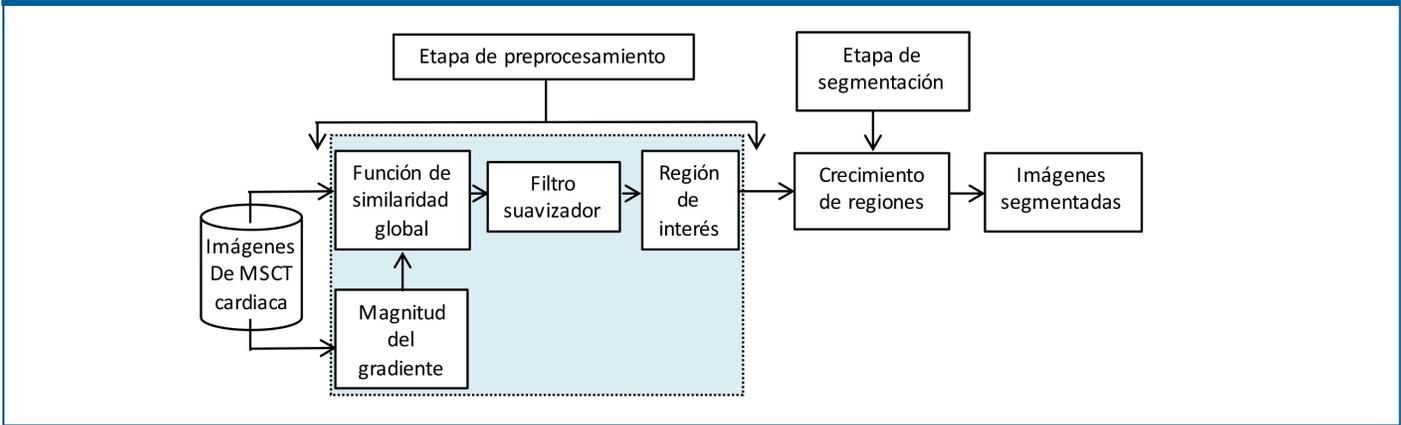
Las RepRap son capaces de fabricar aproximadamente la mitad de sus propios componentes, las demás partes son conocidas como vitaminas y comprenden entre otras barras tornillos, tuerca, electrónica, etc. En resumen, las RepRap son dispositivos mecatrónicos compuestos por la combinación de componentes mecánicos impresos, motores paso a paso para movimiento en 3D y extrusión, y un hot-end para fundir y depositar las sucesivas capas de polímero, todo controlado por un microcontrolador arduino³².

Estas máquinas se basan exclusivamente en la tecnología de Modelado por Deposición Fundida FDM, la cual crea complejos objetos de plástico a partir de un modelo digital en una computadora. El filamento plástico es enrollado en un carrete y desenrollado para suministrar material a la boquilla de extrusión, mientras la boquilla, la superficie de impresión, o ambos, se mueven a lo largo de tres ejes por un mecanismo controlado por computadora. Motores paso a paso son usados típicamente para todos los movimientos, así como para empujar el filamento en el extrusor.

Aunque esto último define cómo funciona el sistema, el proceso de impresión 3D inicia como fuentes diseños CAD, imágenes médicas reconstruidas o escáneres 3D^{35,36}. En este caso se usa de entrada imágenes médicas segmentadas a partir de técnicas de inteligencia artificial³⁷, usando la estrategia mostrada en la **Figura 7** para el ventrículo derecho.

Dado que las imágenes segmentadas son de salida y que el software VTK (<http://www.vtk.org/>) genera archivos no tan

Figura 7. Estrategia de inteligencia artificial para la segmentación del ventrículo derecho
Fuente: adaptado de (37)



comunes y en ocasiones difíciles de extraer superficialmente para su conversión al formato estándar de impresión .stl, se genera una etapa media para convertir las múltiples capas de un archivo .raw al formato estándar de impresión, las etapas completas se muestran en la **Figura 8**. En diferentes estudios se evidencia ventajas del robot delta lineal con respecto al robot serial tradicional^[38,39, 40,41]. La máquina construida posee características frugales que

convierten a impresión 3D de bajo costo en una innovación frugal tal como se ve en el **Cuadro 1**. La **Figura 9** muestra la impresora 3D construida y la pieza segmentada luego de finalizar la impresión sin la estructura de soporte. Otra aplicación interesante se llevó a cabo al segmentar la vena cava superior, ya que la medición de ciertas características de esta permite detectar enfermedades del corazón asociadas a obstrucción en el flujo sanguíneo.

Figura 8. Proceso de impresión 3D de imágenes médicas segmentadas
Fuente: Autor

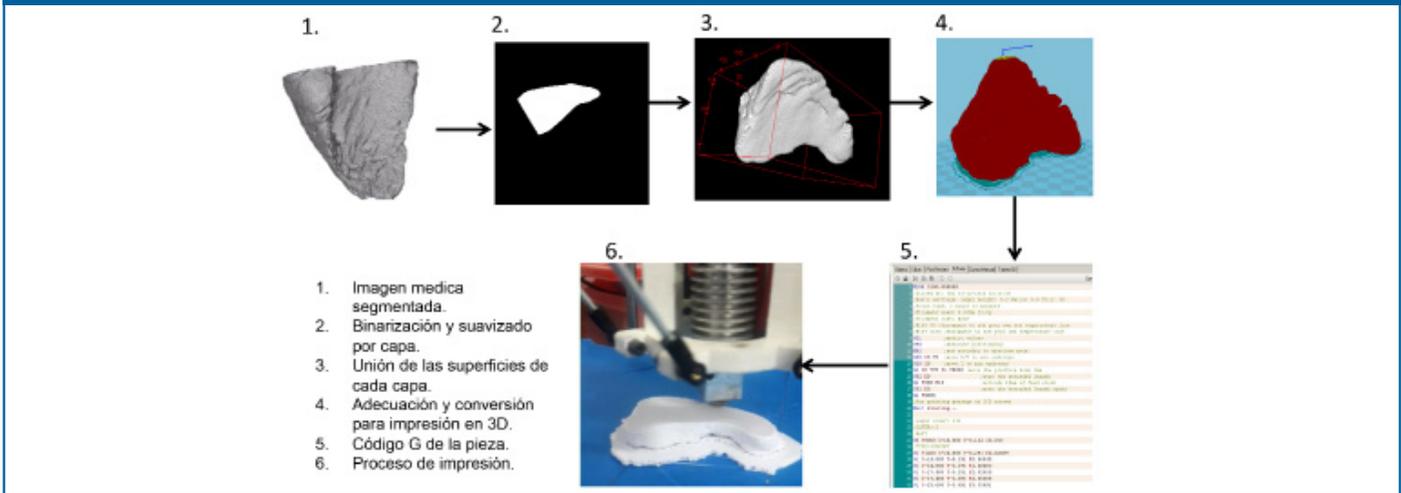


Figura 9. (1) Impresora delta lineal de bajo costo y altas prestaciones, (2) vena cava superior en proceso de impresión, (3) superficie finalizada de ventrículo derecho
Fuente: Autor



Cuadro 1. Mejoras frugales en el diseño de impresoras 3D de bajo costo

Fuente: Autor

Imagen	Características de mejora
	<p>La estructura de un robot delta lineal genera una simetría que disminuye el número de piezas y aumenta la rigidez. Con motores fijos y bajo peso en el efector, la inercia y el torque necesario para el movimiento es menor al cartesiano. En resumen una maquina más rápida, precisa, con menor número de piezas, rígida y económica.</p>
	<p>Otra mejora es usar una fuente de alimentación de 24V, modificando la tarjeta de control, esto disminuye el grosor del cableado y aumento del torque de los motores, disminuye el flujo de corriente, debido a que esta impresora se ha pensado sólo para ser usada con Poliácido Láctico (PLA), biodegradable y con menores requisitos para su uso.</p>
	<p>El cabezal de impresión tuvo modificaciones, resultado de la experiencia de impresión, los múltiples atascos llevaron a colocar un ventilador en el radiador del <i>hot-end</i>, para ganar altura de impresión y estabilidad, se subió el <i>hot-end</i> por encima de la plataforma del efector, que permitió ubicar el ventilador refrigerante en la plataforma y llevó a repensar el diseño del ventilador de la cama.</p>

Conclusiones

El principal hallazgo es que a pesar que la impresión 3D es una innovación disruptiva en el ámbito mundial, el uso

de una de tipo RepRap delta lineal, simplifica la fabricación, uso, reparación, además de disminuir de costos y mejorar la velocidad de impresión, precisión y rigidez. Estas ventajas permiten obtener una versión física de secciones del corazón, para ayudar en el diagnóstico de enfermedades. También la biocompatibilidad del PLA, material para reemplazar secciones como la válvula cardiacas, extraídas de manera fidedigna de una impresión 3D, hacen que esta opción se convierta en un proceso que se adapta a las necesidades de asequibilidad que exigen los países en desarrollo.

- Pineda MA. Negocios y sostenibilidad en la Base de la Pirámide. Punto de vista. 2015;5(9):95-116.
- Blocker C, Ruth J, Sridharan S, Beckwith C, Ekici A, Goudie M, et al. Understanding poverty and promoting poverty alleviation through transformative consumer research. Journal of Business Research. 2013;66(8):1195-202.
- Prahalad C, Hammond A. Serving the world's poor, profitably. Harvard business review. 2002;80(9):48-59.
- Sánchez C, Schmid A. Base of the pyramid success: A relational view. South Asian Journal of Global Business Research. 2013;2(1):59-81.
- Gauthier AK, Cruz G, Medina L, Duke S. Design Factors for Medical Device Functionality in Developing Countries. In: IIE Annual Conference Proceedings. Pittsburgh; 2013: 2227.
- Chandran N, Brahmachari SK. Technology, knowledge and markets: connecting the dots—electric rickshaw in India as a case study. Frugal Innovation Journal. 2015;1(1):1-3.
- Radjou N, Prabhu J. Frugal Innovation: How to Do More with Less. UK: Profiles Books Ltd;2015.
- Vadakkapat P, Garg HK, Loh AP, Tham, MP. Inclusive innovation: getting more from less for more. Journal of Frugal Innovation. 2015; 1(1): 1-2.
- Gomez-Marquez J. Design for hack in medicine. Makezine [Revista on-line]. 2012. [Citado 2015]. Disponible en: <http://makezine.com/2012/04/03/design-for-hack-in-medicine/>
- Rao BC. How disruptive is frugal?. Technology in Society. 2013;35(1):65-73.
- Brem A, Ivens BS. Do Frugal and Reverse Innovation Foster Sustainability? Introduction of a Conceptual Framework. Journal of Technology Management for Growing Economy. 2013;4(2):31-50.
- Soni P, Krishnan, RT. Frugal innovation: aligning theory, practice, and public policy. Journal of Indian Business Research. 2014;6(1):29-47.

Referencias

- Prahalad CK. La oportunidad de negocios en la base de la pirámide. Colombia: Grupo Editorial Norma; 2005.
- Hammond AL, Kramer WJ, Katz RS, Tran, JT, Walker C. The next 4 billion: Market size and business strategy at the base of the pyramid. USA: World Resources Institute International Finance Corporation; 2007.

15. Zeschky MB, Winterhalter S, Gassmann O. From cost to frugal and reverse innovation: mapping the field and implications for global competitiveness. *Research-Technology Management*. 2014;57(4):20-27.
16. Wooldridge A. The world turned upside down. *The Economist* [Revista on-line]. 2010. [Citado 2015]. Disponible en: <http://www.economist.com/node/15879369/>
17. Bhatti YA. What is Frugal, What is Innovation? Towards a Theory of Frugal Innovation [Internet]. Rochester, NY: Social Science Research Network; 2012 feb [citado el 11 de marzo de 2015]. Report No.: ID 2005910. Disponible en: <https://papers.ssrn.com/abstract=2005910>
18. Brem A, Wolfram P. Research and development from the bottom up-introduction of terminologies for new product development in emerging markets. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*. 2014;3(1):1-22.
19. Tran V, Ravaud P, Diard E. Frugal Innovation in Medicine. [monografía en Internet]. Paris: academic laboratory (CRESS, INSERM U1153); 2015. [citado el 2015]. Disponible en: <http://frugal-innovation-medicine.com/index.php>
20. World Health Organization. Compendium of innovative health technologies for low resources settings 2011–2014. Geneva:WHO;2015.
21. Anner J. (2013). Emerging economies drive frugal innovation. *Bulletin of the World Health Organization*. 2013;91(1):6-7.
22. Ramdorai A, Herstatt C. Frugal Innovation in Healthcare [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2015 [citado 2015]. (India Studies in Business and Economics). Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-16336-9>.
23. Zuniga J, Katsavelis D, Peck J, Stollberg J, Petrykowski M, Carson A, et al. Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC Research Notes*. 2015;8:10.
24. O'Hara NN. Is safe surgery possible when resources are scarce? *BMJ Quality & Safety*. 2015;24(7):432–4.
25. Reardon, S. Frugal science gets DIY diagnostics to world's poorest. *New Scientist*. 2013;219(2933):20–1.
26. Cybulski JS, Clements J, Prakash M. Foldscope: Origami-Based Paper Microscope. *PLOS ONE*. 2014;9(6)..
27. Hull, CW. U.S. Patent No. 4,575,330. Washington:Patent and Trademark Office;1986.
28. Berman B. 3-D printing: The new industrial revolution. *Business horizons*. 2012; 55(2): 155-162.
29. Petrick, IJ, Simpson, TW. 3D printing disrupts manufacturing: how economies of one create new rules of competition. *Research-Technology Management*. 2013;56(6):12-6.
30. Crump SS. Apparatus and method for creating three-dimensional objects [Internet]. US patente 5121329A. 1992 Jun 9.
31. Raymond, ES. The Cathedral & the Bazaar: Musings on linux and open source by an accidental revolutionary. Beijing:O'Reilly;2001.
32. Wittbrodt B, Laureto J, Tymrak B, Pearce JM. Distributed manufacturing with 3-D printing: a case study of recreational vehicle solar photovoltaic mounting systems. *Journal of Frugal Innovation*. 2015;1(1):1-7.
33. Wohlers TT. Wohlers Report 2011: Additive Manufacturing and 3D Printing State. Industry Annual Worldwide Progress Report. Fort Collins, CO: Wohlers Associates; 2013.
34. Bowyer A. (2004). Wealth without money. [Monografía en internet]. Bath, UK: University of Bath; 2003. [citado el 2015]. Disponible en: http://reprep.org/wiki/Wealth_Without_Money.
35. Rengier F, Mehndiratta A, Von Tengg-Kobligh H, Zechmann CM, Unterrinninghofen R, Kauczor HU, Giesel FL. 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *International journal of computer assisted radiology and surgery*. 2010;5(4):335-41.
36. Sturm J, Bylow E, Kahl F, Cremers D. CopyMe3D: Scanning and printing persons in 3D. In German Conference on Pattern Recognition. Berlin: Springer; 2013: 405-14.
37. Vera M. Segmentación de estructuras cardíacas en imágenes de tomografía computarizada multi-corte [Tesis doctoral]. Mérida-Venezuela: Universidad de los Andes, 2014.
38. Chiang M-H, Lin H-T. Development of a 3D Parallel Mechanism Robot Arm with Three Vertical-Axial Pneumatic Actuators Combined with a Stereo Vision System. *Sensors*. el 5 de diciembre de 2011;11(12):11476–94.
39. Giberti H, Righettini P, Tasora A. Design and experimental test of a pneumatic translational 3dof parallel manipulator. In 10th International WorkShop on Robotics in Alpe-AdriaDanube Region (RAAD-2001). Viena; 2001:16-19.
40. Liu XJ, Wang J, Oh KK, Kim J. A New Approach to the Design of a DELTA Robot with a Desired Workspace. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 2004; 39(2): 209-225.
41. Lu S, Li Y. (2014, December). Kinematic analysis and performance evaluation of the 3-PUU parallel module of a 3D printing manipulator. In *Control Automation Robotics & Vision (ICARCV)*, 2014 13th International Conference. Macao; 2014: 1847-1852.

Manuel Velasco (Venezuela) **Editor en Jefe** - Felipe Alberto Espino Comercialización y Producción

Reg Registrada en los siguientes índices y bases de datos:

SCOPUS, EMBASE, Compendex, GEOBASE, EMBiology, Elsevier BIOBASE, FLUIDEX, World Textiles,

OPEN JOURNAL SYSTEMS (OJS), REDALYC (Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal),

LATINDEX (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal)

LIVECS (Literatura Venezolana para la Ciencias de la Salud), LILACS (Literatura Latinoamericana y del Caribe en Ciencias de la Salud)

PERIÓDICA (Índices de Revistas Latinoamericanas en Ciencias), REVENCYT (Índice y Biblioteca Electrónica de Revistas Venezolanas de Ciencias y Tecnología)

SCIELO (Scientific Electronic Library Online), SABER UCV, DRJI (Directory of Research Journal Indexing)

CLaCaLIA (Conocimiento Latinoamericano y Caribeño de Libre Acceso), EBSCO Publishing, PROQUEST.



Esta Revista se publica bajo el auspicio del
Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico
Universidad Central de Venezuela.

