

D. I. Jesús Eugenio Ricardez Sánchez
D.I. Arturo Zamora

Aplicación de la Impresión 3D en las ciencias de la Salud

Aplicación de la impresión 3D en las ciencias de la salud

D.I. Jesús Eugenio Ricardez Sánchez.

Estudio Huella Cero, México

thejers@hotmail.com

D.I. Arturo Zamora,

Estudio Huella Cero, México

estudio.huellacero@gmail.com

La tecnología como herramienta creativa del diseño / Diseño con tecnología de vanguardia

Resumen

En el presente artículo se plantean casos donde la impresión 3D ha sido aplicada en la medicina, los efectos positivos que ha tenido, y como su uso influenciará comportamientos e investigaciones futuras. Así mismo, se menciona cómo en el mundo se ha visto beneficiado el desarrollo de prótesis, debido a la implementación de la impresión 3D y el trabajo colaborativo. Finalmente, se describe el contexto del campo protésico del país, sus limitaciones y las oportunidades de la manufactura aditiva en el mismo.

Palabras clave

Impresión 3D, Manufactura aditiva, Tecnología, Medicina, Extremidades protésicas.

Abstract

This article is about the importance of how 3D printing is being applied through medicine in several cases and how its positive effects will influence specific behaviors and future research. Likewise, it discusses how the development of prosthetics has been benefited in Mexico and in the world by the implementation of 3D printing in collaborative work and open source information. Finally, it analyses the field of prosthetics in the country, its limitations and the opportunities of additive manufacture overall.

Keywords (Palabras clave)

3D Printing, Additive manufacturing, Technology, Medicine, Prosthetics limbs.

Introducción

La manufactura aditiva o impresión 3D es considerada una tecnología de vanguardia, no obstante, de que existe desde los años ochenta. En los últimos años ha sido vinculada a través de diversos proyectos al campo de la medicina. Esta vinculación ha resultado en importantes aportaciones para el área de la salud, desde el cultivo de órganos para trasplante, hasta reducciones de tiempo en el quirófano o inclusive la mejora de la precisión de las herramientas auxiliares utilizadas por los cirujanos ortopedistas.

La medicina se ha beneficiado por la incorporación de nuevas tecnologías y del trabajo colaborativo. Este último ofreciendo el libre acceso a la información y la comunicación global, que el internet ha hecho posible, buscando el establecimiento de redes compuestas por personas que desde diferentes partes del mundo utilizan su tiempo libre para intercambiar conocimientos y experiencias aplicadas en un objetivo común. Así, han surgido proyectos innovadores como la red (web) Wikipedia o el sistema de software Linux. El principal atractivo de estos proyectos es ser el resultado del trabajo altruista de miles de personas, su calidad es competitiva con la de los programas desarrollados por las grandes marcas, en menor tiempo y de manera gratuita. (Benkler y Nissenbaum 2006, p. 395)

Conforme la manufactura aditiva redujo su costo y cada vez más personas pudieron hacerse de esta tecnología, se integró en el modelo de trabajo colaborativo. Pronto se pasó de intercambiar información e ideas intangibles a compartir modelos digitales capaces de ser replicados físicamente en cualquier lugar del mundo gracias a la impresión 3D. Algunas de las aplicaciones médicas más significativas, que este nuevo modelo de trabajo ha traído, pertenecen al desarrollo de prótesis. Debido a esto, se permitió la integración de personas que no necesariamente pertenecen al área médica, quienes no habían jugado ningún papel en esta clase de investigaciones o cuya participación no era considerada crucial para el campo.

Objetivo General

Demostrar algunos beneficios de la impresión 3D aplicados en las ciencias de la salud.

Objetivo específico

Establecer la importancia de un sistema protésico integral acorde al contexto mexicano.

Destacar la importancia de que los diseños de las prótesis sean ergonómicas, funcionales y de bajo costo.

Demostrar la viabilidad de que sean desarrolladas mediante procesos tecnológicos que satisfagan la demanda.

Permitir que más personas puedan verse involucradas en el proceso.

Desarrollo

¿Qué es la impresión 3D?

La manufactura aditiva, también conocida como impresión 3D, es un proceso de manufactura en el que un objeto físico es creado a través de un modelo digital elaborado desde un programa *Computer-aided design* (CAD). Su funcionamiento consiste en la división del modelo CAD en capas horizontales. Esta información es enviada a la impresora 3D que materializa el modelo a través de la superposición de estas capas hasta obtener una representación física del modelo digital. La materia prima y el proceso utilizado para la materialización de estas capas varía dependiendo el tipo de impresión 3D que se utilice. (Vazhnov, 2013)

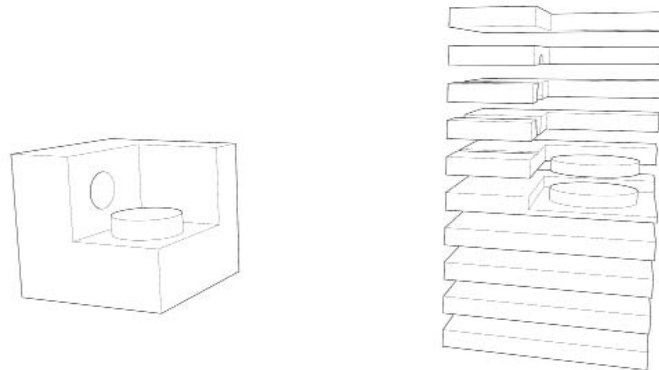


Fig. 1. Modelo CAD (izquierda) y modelo separado en capas para impresión 3D (derecha).
Fuente: Elaboración propia

Entre los más populares se encuentra la estereolitografía (*stereolithography*, SLA), inventada en 1984 por Chales Hull posterior co-fundador de la compañía *3D Systems*, fue el proceso que dio origen al concepto de la impresión 3D, utiliza resina fotocurable que es solidificada a través de la exposición a un haz de luz ultravioleta. El Modelado de Fusión por Deposición (*Fusion Deposition Modeling*, FDM), inventada por el fundador de la compañía *Stratasys* Scott Crump, permite la obtención de piezas en materiales plásticos como el Acrilonitrilo Butadieno Estireno, el Ácido Poliláctico (ABS y PLA por sus siglas en inglés, respectivamente). El material se carga en forma de un filamento que pasa por un extrusor caliente que lo lleva a su punto de fusión para ser depositado en la capa correspondiente, posteriormente el material se enfría y solidifica. Y la Sinterización Selectiva o Láser (*Selective Laser Sintering*, SLS), desarrollada por la Universidad de Texas en Austin a mediados de los años 80. La diferencia de la impresión SLA es que utiliza polímero líquido fotocurable y el SLS emplea material en polvo (poliestireno, materiales cerámicos, cristal, nylon y materiales metálicos) que al ser impactado por un láser funde el material y lo solidifica. (Maturana, 2014)

La impresión 3D en el área de la salud.

Por si sola la impresión 3D presenta grandes beneficios como, permitir el prototipado rápido y reducir el costo de fabricación en piezas individuales, pero sumada a otras tecnologías y aplicada en el campo de la salud ha ofrecido avances que prometen cambiar el futuro de la medicina actual.

Gracias a la manufactura aditiva la forma en que se practican las cirugías ha cambiado. Uno de los mayores retos para un cirujano ortopédico es colocar las prótesis y los implantes con la máxima precisión posible. Con la finalidad de llevar cabo esta tarea, los cirujanos utilizan un dispositivo llamado herramienta auxiliar, cuya función básica es la de guiar al cirujano en la colocación de una prótesis. Como se sabe, la morfología corporal varía de persona a persona, por lo que es complicado que una sola herramienta funcione para todas las personas. Mediante el uso de tomografías computarizadas se puede generar un modelo 3D de la zona que será sometida a cirugía. Este modelo se usa como referencia para diseñar herramientas auxiliares personalizadas que se adaptan a la anatomía del paciente y a las circunstancias del procedimiento.

Antes de la impresión 3D, las herramientas auxiliares personalizadas debían ser fabricadas a mano, por lo que se invertía mucho tiempo y no se garantizaba la precisión de la misma.

Estas herramientas se fabrican en Nylon, un material plástico muy común en la impresión SLS, sus principales ventajas son biocompatibilidad, alta resistencia mecánica y permitir su esterilización. (Cassaignau, 2015)



Fig. 2. Uso durante cirugía ortopédica de herramienta auxiliar fabricada mediante impresión 3D.

Fuente: <https://www.sculpteo.com/en/applications/medical/>

Otro cambio positivo en las cirugías atribuible a la impresión 3D es la duración de éstas. El tiempo es un factor determinante durante una cirugía, impactando en costo y riesgo. Cuanto más demore una cirugía mayor es el costo que esta tendrá, así mismo, entre más tiempo estén expuestos los tejidos internos de una paciente crece el riesgo de que algo salga mal. Por lo que cualquier método que pruebe reducir la duración del procedimiento, sin afectar la eficacia del mismo, tiene gran valor para la medicina y para la pronta recuperación del paciente.

Para los cirujanos maxilofaciales de la Cliniques Universitaires Saint Luc, Université Catholique de Louvain (UCL) en Bélgica, la manufactura aditiva es clave si se quiere ahorrar tiempo en el quirófano. Frecuentemente se ven en la necesidad de reconstruir los huesos del cráneo, desde una mandíbula afectada por el cáncer hasta orificios oculares destrozados en un accidente automovilístico.

Se utiliza una impresora 3D para que a partir de un escaneo digital de la estructura ósea; elaborar réplicas exactas de la fisonomía del paciente antes de que este sea sometido a una operación.

Al ser el modelo 3D una copia idéntica, el cirujano lo utiliza, de manera muy precisa, para darle forma a los insertos metálicos que rodearan el hueso residual. Estos insertos pueden ser placas que soporten el daño de la mandíbula o una malla de titanio para reconstruir orificios oculares. Sin el modelo físico 3D para trabajar, los cirujanos se verían forzados a desperdiciar valioso tiempo moldeando las piezas metálicas durante la cirugía, sin mayores herramientas que la prueba y error, lo que repercute en daño a los tejidos. (Mcor technologies, 2013)



Fig. 3. Modelo de cráneo fabricado mediante impresión 3D.
Fuente: <http://mcor technologies.com/doctors-in-belgium-use-mcor-paper-based-3d-printing-to-dramatically-reduce-surgical-time/>

De las aplicaciones que tiene la manufactura aditiva, quizá la que más expectativas genera

es la impresión de órganos. Decenas de pacientes se han visto beneficiados al recibir un órgano cultivado a partir de sus propias células. El proceso es similar al de una impresora de tinta convencional, pero se emplea una especie de tinta biológica compuesta por las células del órgano que se desea replicar y un polímero biocompatible cuya función es servir de andamio y campo de cultivo para que las células implantadas puedan madurar y reproducirse, dando como resultado un órgano funcional. Con este proceso se han logrado producir vejigas que han sido trasplantadas en seres humanos, así como obtener tejidos como piel, cartílago e inclusive hueso. Con el tiempo se espera ser capaces de imprimir órganos más complejos como el corazón o el hígado.

El uso de esta tecnología evita algunos de los riesgos que los trasplantes de órganos plantean. En primer lugar, no se tiene que esperar por un donante, normalmente la espera puede durar años y es común que los pacientes enfermen más o incluso mueran. En segundo lugar, ya que los órganos de ingeniería se construyen a partir de las propias células de un paciente, no parecen extraños para su sistema inmunológico y no son rechazados. (Justin Warner, 2013)

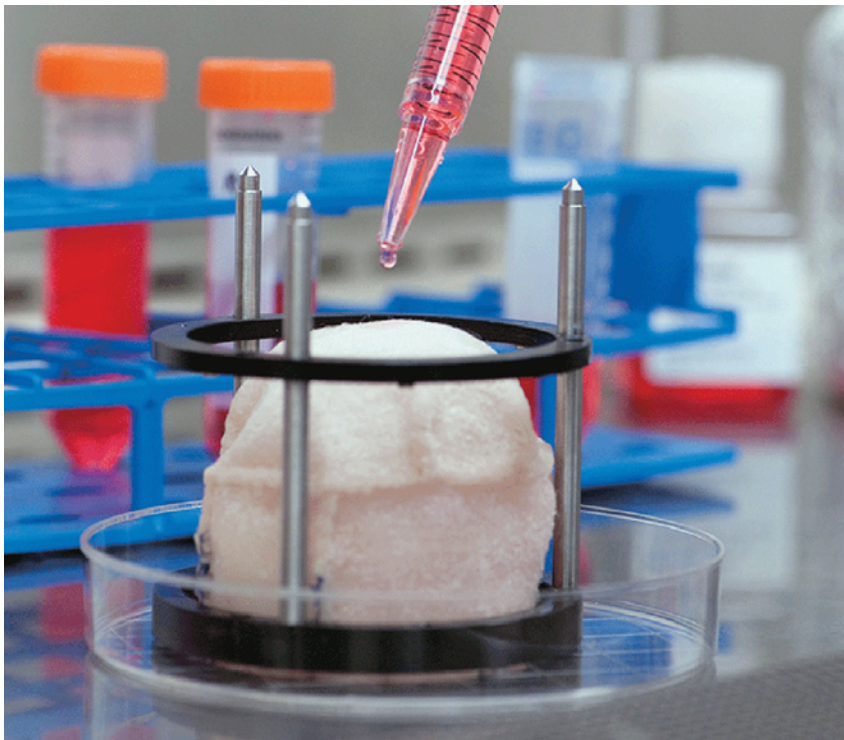


Fig. 4. Cultivo de células sobre andamiaje de vejiga.
Fuente: <http://www.wakehealth.edu/WFIRM/>

Actualmente, se encuentra en desarrollo una nueva generación de impresoras de órganos que se espera sea capaz de identificar una lesión y reemplazar el tejido dañado imprimiéndolo directamente sobre el paciente, en la mesa de operaciones. (TED talks, 2011)

El desarrollo de prótesis y el trabajo colaborativo.

El trabajo colaborativo, también llamado producción entre pares (peer production), es un sistema socio-económico emergente que hace uso de la infraestructura técnica del internet.

Lo más destacado de este sistema, es la colaboración entre grandes grupos de individuos, los cuales pueden llegar a ser miles, que cooperan con eficacia para proporcionar información, conocimientos o bienes culturales sin depender del mercado o de un sistema jerárquico para coordinarse en una misión común.

Este novedoso sistema ha hecho algunos de los mejores programas computacionales, la más rápida supercomputadora y las más completas bases de datos. Además, ha sido el responsable de una de las iniciativas más innovadoras del campo de la protésica. (Benkler, Nissenbaum, 2006)

En 2011 Richard Van As, un carpintero de Johannesburgo que perdió 4 dedos de una mano tras un accidente laboral, al no estar satisfecho con las prótesis disponibles para él, decidió que fabricaría una propia. Para llevar a cabo esta tarea y dado sus pocos conocimientos en el tema, contactó vía internet a Ivan Owen, un especialista en efectos especiales, que conoció por un video en la red donde manipula una mano mecánica de su creación.

Ivan vive en Washington a miles de kilómetros de Richard, pero eso no los detuvo. Compartieron sus ideas vía internet y por medio de Skype, construyeron un prototipo de prótesis de dedos funcional, publicaron su trabajo en la red y en poco tiempo una de las empresas más populares en impresión 3D les obsequió una impresora 3D a cada uno para que pudieran continuar con su investigación.

Con ayuda de estas nuevas herramientas, pasaron de fabricar un prototipo en unas semanas a unos cuantos días, y tenían la seguridad de que ambos experimentaban con copias idénticas de su trabajo. Su objetivo es que otras personas sean capaces de construir prótesis de bajo costo para ellos mismo u otros, por lo que compartieron todos los archivos en internet y liberaron los derechos comerciales bajo una licencia de dominio público.

Por lo anterior, se creó una comunidad llamada Enabling the future. Enable es una comunidad global de código abierto dedicada al desarrollo de manos y brazos imprimibles con tecnología 3D que busca compartir sus conocimientos con el mundo. Actualmente, el costo promedio de una de estas prótesis es de 45 dólares, después de haber impreso el total de sus piezas se ensambla en aproximadamente 3 horas. Se han impreso más de 2,000 prótesis en alrededor de 45 países. (TEDxTalks, 2014)

La comunidad creada por Enable, ha inspirado diversos proyectos en el área protésica. Se busca reemplazar los tediosos métodos de fabricación tradicional que requieren de habilidades artesanales y diferentes técnicas para adaptar la prótesis a la particular anatomía del amputado, por un proceso automatizado que resulte en un producto estético,

ajustable y sobre todo costeable. Tal es el caso de la pierna protésica EXO, del diseñador William Root. EXO, automatiza el proceso de producción de una pierna protésica a través del uso de escáneres e impresoras 3D, así el costo de la prótesis se reduce al costo del material y el proceso utilizado para su fabricación. Remplazando los numerosos componentes y conectores presentes en una prótesis tradicional por un único exosqueleto impreso en 3D, la pierna ya no es más una robótica e inhumana compilación de partes, sino un elemento estético que al tener la forma original de su cuerpo es más fácilmente aceptado por el amputado. (Root, 2014)



Fig. 5. Pierna protésica EXO.

Fuente: <https://www.behance.net/gallery/20696469/exo-prosthetic-leg>

El contexto mexicano

En México no existe una institución encargada exclusivamente de la atención y cuidado del amputado. Por lo que hay muy poca información de fuentes fidedignas. Asimismo, las bases de datos existentes manejan información generalizada, y no estratifica el tipo de amputación. En el año 2015 el Instituto Nacional de Información y Estadística (INEGI) reportó en 780 mil el número de amputados. Mientras que la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición en el año 2012 registró que más de 5 millones de personas tienen incapacidad para desplazarse, sin distinguir a los que han sufrido alguna amputación. Según la Academia Nacional de Cirugía se amputan en el país 75 personas diarias, cifra que anualmente supera los 27 mil amputados.

Es observable que las instituciones tanto públicas como privadas son insuficientes. Desde el sector público, el DIF Nacional tiene tan sólo 11 unidades que fabrican prótesis en todo el país, y debido a la falta de presupuesto, la capacidad de fabricación es de aproximadamente 400 al año; por su parte, el Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) ha reportado la entrega de prótesis a 120 pacientes anualmente. Las instituciones de iniciativa privada como el Centro para Rehabilitación Integral De Minusválidos del Aparato Locomotor (CRIMAL IAP) Querétaro y los Centros de Rehabilitación Infantil (CRIT)

producen prótesis para 120 y 775 pacientes respectivamente, cada año (Vázquez, 2015).

En un país donde al año hay más de 27 mil amputados la producción de prótesis cubre apenas el 5% de la demanda. Hay una carencia de fabricantes de prótesis, ya que, el número de técnicos capacitados supera apenas los 3 mil.

Se estima en México la existencia de más de 2 mil talleres o laboratorios de prótesis y órtesis. La mayoría trabaja con personal que no tiene preparación académica y transmite de manera empírica el conocimiento. En este contexto, Carlos Alberto Ramos Vizcaino, presidente de la Sociedad Mexicana de Órtesistas y Protésistas, considera que solamente cerca del 20% de los fabricantes de prótesis y órtesis en México tiene algún estudio en la materia.

El INR impartió durante 40 años la carrera técnica en prótesis y órtesis, que posteriormente se convirtió en licenciatura, sin embargo desde hace unos años ya no aparece en su oferta educativa. Por lo que son pocas las escuelas técnicas o instituciones de nivel superior, que ofrecen dentro de sus planes de estudio esta especialidad. (Sánchez, 2015)

Mientras que en otros países la fabricación de prótesis es una ciencia avanzada, en México parece convertirse en un oficio

El precio de vivir sin un miembro

Además de la limitada oferta de prótesis en el mercado mexicano, las personas amputadas deben enfrentar otro gran problema: el costo. En 2015, el gasto para la función Salud en México representó el 2.8% de su PIB, uno de los porcentajes más bajos entre los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la cual informa que “alrededor de la mitad de todo el gasto en salud en México es pagado directamente por los pacientes”.

En este marco, durante 2015 el costo directo de una amputación de miembro inferior causada por diabetes tipo 2 (DT2), responsable del 81% de las amputaciones en el país, varió de 520 mil pesos a 1 millón de pesos; en los casos de las amputaciones de una mano, sin prótesis, es de hasta 520 mil pesos. A los costos anteriores, falta incluir el precio por adquirir una prótesis de manera independiente, es decir de 20 mil a 300 mil pesos más. Además, la incertidumbre de estar frente a un protesista poco preparado, lo que implica que la prótesis sea inservible en términos ergonómicos. (Hiir, 2015)

Como lo menciona José Ramón Álvarez Bada (2015), coordinador del Programa de Ingeniería Biomédica de la Universidad Anáhuac, en el contexto mexicano de fabricación de prótesis y órtesis “No hay un tipo de norma que deban obedecer, ni siquiera la Norma Oficial Mexicana en el sentido estricto de la palabra, entonces como no hay normas se puede hacer cualquier cosa”. (Sánchez, 2015)

Resultados

Los avances que se presentan son sólo algunas de las primeras aplicaciones de la impresión 3D en la medicina que tiene un impacto positivo en las personas.

Tal es el caso de Luke Masella, uno de los primeros 10 pacientes en recibir un órgano cultivado en laboratorio mediante impresión 3D. Nació con espina bífida, una enfermedad congénita en la que la columna vertebral y la médula espinal no se cierran durante el desarrollo fetal. Esta condición afectó una de las funciones esenciales del cuerpo: orinar. Por tal motivo Luke fue diagnosticado con insuficiencia renal a la edad de 10 años. Para sobrevivir sería necesario hacer diálisis para toda la vida, pasar horas cada dos días en un hospital, conectado a una máquina. En el Departamento de Urología del Centro Médico Bautista Wake Forest, en Winston-Salem, Carolina del Norte, el director Anthony Atala desarrolló una técnica en la que utilizaría las propias células de Luke para crear una nueva vejiga con mejor funcionamiento, que se conectaría a su vejiga para ayudarla a funcionar. Quince años después del procedimiento, la nueva vejiga requiere que tome medicamentos diariamente y debe beber más agua que un típico adulto joven. Pese a que su vejiga esta ahora lo suficientemente fuerte como para orinar, carece de sensaciones por lo que no le es posible sentir cuando la vejiga está llena así que tiene que orinar en un horario impuesto a sí mismo, en lugar de esperar hasta sentir el impulso. De no haber recibido esa vejiga, su órgano original y su salud se hubiesen deteriorado hasta incluso llegar a la muerte. En cambio, su salud cada día mejora. (Justin Warner, 2013)

En casos donde parece agotada toda alternativa, la impresión 3D está planteando nuevas oportunidades de acción. Por esta razón cada día más personas se involucran para impulsarla dentro de su propio entorno. En el contexto de las prótesis, queda plantear la siguiente pregunta: ¿Qué pasará con los miles de personas que necesitan de una prótesis para recuperar su independencia, y que, por falta de presupuesto y capacitación en el país, esto no ha sido posible? Es necesario recordar que aproximadamente el 95% de los amputados en México, enfrentan esta situación.

Como se ha mencionado, las aplicaciones de la impresión 3D en el área protésica son bastas. Si bien, es cierto que una prótesis impresa en 3D no iguala en resistencia y funcionalidad a las prótesis comerciales, se ha notado la inclinación de la población por estas prótesis alternativas. La asequibilidad de las mismas podría ser un factor que influencia este comportamiento, según testimonios, la situación económica del país influye para que las personas decidan entre invertir una gran suma de dinero en una prótesis o usarlo para dar una mejor calidad de vida a sus familias. Se sabe que la discapacidad está relacionada con la pobreza, siendo una consecuencia de la otra y viceversa.

Una propuesta que pretende mejorar este contexto es la que presenta el estudio mexicano de innovación sustentable, “Huella Cero” con su iniciativa Proyecto CREA. Dicha iniciativa utiliza sus herramientas y conocimientos para ayudar a las personas a mejorar su calidad de vida, por medio de la donación de prótesis, órtesis y soluciones técnicas elaboradas mediante procesos de fabricación digital (CNC router, láser e impresión 3D) a amputados traumáticos, así como adultos y niños con deficiencias congénitas.

En la experiencia del proyecto, se ha identificado que las personas después de un accidente traumático en donde reciente han perdido su miembro, buscan una forma de volver a sentirse completos, el accidente para ellos fue devastador y suelen mantener su muñón vendado o cubierto incluso cuando esto les limita la movilidad. Por otro lado, están las personas que por deficiencia congénita o por amputación a muy temprana edad sufren la ausencia de un miembro, quienes se caracterizan por ser más confiadas y desenvueltas, no temen tener expuesto o usar su muñón ya que son hábiles con el mismo. En general, estos pacientes buscan una prótesis para evitar las miradas de la gente cuando salen a la calle, debido a que no sienten que el problema sean ellos, sino la sociedad.

Es común encontrar en ambos grupos individuos que ya cuentan con prótesis que les fueron entregadas por instituciones públicas. Sin embargo, afirman no usarlas a excepción de ser extremadamente necesario. El motivo, según los pacientes, es porque son feas y generan reacciones negativas en las personas cuando van por la calle. Por lo que se observa que, la personalización de los colores del material (propiedades específicas como cambio de color o brillo en la oscuridad), aunado la adaptación de la forma mediante la adhesión de grabados y texturas, es más importante para el usuario, que la funcionalidad y resistencia de una prótesis que les avergüenza utilizar.

Otro factor determinante para los usuarios al momento de elegir una prótesis es el empoderamiento. Una prótesis fabricada mediante impresión 3D permite reemplazar piezas de manera selectiva, con solo tener el diseño de la prótesis en un modelo 3D, se puede seleccionar la pieza dañada o que se desea reemplazar y mandar a imprimir de manera independiente. Lo anterior, permite alargar el tiempo de vida de las prótesis; además, le otorga total control al usuario sobre su sistema para hacer modificaciones para trabajos específicos, o bien, hasta una prótesis totalmente nueva, siempre y cuando tenga acceso la tecnología necesaria.

Proyecto CREA pretende contribuir al empoderamiento de los individuos, por medio de la red de colaboradores y pacientes donde se involucran personas con diferentes disciplinas, como son médicos, abogados, diseñadores y psicólogos. La meta es aportar experiencias y testimonios para el mejoramiento de los recién integrados.

Esta iniciativa utiliza los diseños de prótesis disponibles en la comunidad E-nable y otros diseños de código abierto compartidos en la red. No obstante, se ha observado que estos diseños no son aplicables en el contexto de la población mexicana, dada la morfología de los pacientes. Por lo que el estudio actualmente diseña prótesis que atiendan las necesidades de los habitantes en las situaciones antes mencionadas, con base en los casos atendidos.

Conclusiones

Conforme avanza la tecnología, más y más industrias van a enfrentar la fuerza disruptiva del mundo digital y van a tener que aprender a manejarse según sus reglas. Este fue el pensamiento expresado por Marc Andreessen, creador del primer navegador de internet, en su obra “¿Por qué el Software se está comiendo el mundo?”. Este artículo presenta hechos que prueban las afirmaciones de Marc Andreessen. El cambio está ocurriendo, el uso de aparatos y programas de vanguardia están permitiendo a la medicina llevar a cabo procedimientos que antes eran considerados ciencia ficción.

Si bien con la impresión 3D se han hecho significativas aportaciones al campo protésico en el mundo, México aún tiene un largo camino por delante. Iniciativas como Proyecto CREA, dejan de manifiesto que existe una necesidad, y que es más compleja que otorgar prótesis de bajo costo pobremente adaptadas al amputado. En su experiencia, el trabajo colaborativo es fundamental para obtener resultados afines a la anatomía del mexicano promedio. Solamente con la participación de médicos, terapeutas, protesistas y diseñadores se logrará desarrollar un sistema protésico integral al contexto que se vive en el país. Es decir, una prótesis ergonómica, funcional y de bajo costo, elaborada mediante procesos capaces de satisfacer la demanda y que permita que más personas puedan verse involucradas en el proceso.

Bibliografía o Referencias

Andreessen, M. (2011, 20 de Agosto) Why Software is eating the World. *The Wall Street Journal*.

Benkler, Y., Nissenbaum, H. (2006). Commons-based Peer Production and Virtue. *The Journal of Political Philosophy*. 14, p.394.

Mcor technologies (2013). Doctors in Belgium use Mcor paper-based 3D printing to dramatically reduce surgical time. [En línea]. 19 enero del 2013. Disponible en http://mcor technologies.com/wp-content/uploads/2013/04/UCL-CS-19012013_high.pdf [20 de julio 2016].

Cassaignau, A. (2015). Sculpteo Success Story: 3D printed medical tools for surgery. *Sculpteo blog*. [En línea]. 28 de octubre del 2015. Disponible en <https://www.sculpteo.com/blog/2015/10/28/3d-printed-medical-tools-for-surgery/> [20 de julio 2016].

Dra. Hiiar, M. (2015) *Epidemiología de las amputaciones*. Acta de la sesión del 4 de marzo del 2015. Academia Nacional de Medicina.

How to 3D print – beginner’s guide to 3D printing (2014). *3D PRINTER PLANS “I Think, Therefore I Print”*. [En línea]. Disponible en <http://3dprinterplans.info/how-to-3d-print-beginners-guide-to-3d-printing/> [20 de julio 2016].

Justin Warner (2013). Vivir con una Vejiga Artificial. [Versión electrónica]. *Chematters*. Disponible en <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/resources/highschool/chematters/spanishtranslations/chematters-april2013-bladder-spanish.pdf> [20 de julio 2016].

Maturana, J. (2014) Éstas son las tecnologías de impresión 3D que hay sobre la mesa y lo que puedes esperar de ellas [En línea]. 20 febrero del 2014. Disponible en <http://www.xataka.com/perifericos/estas-son-las-tecnologias-de-impresion-3d-que-hay-sobre-la-mesa-y-lo-que-puedes-esperar-de-ellas> [20 de julio 2016].

Lic. O. P. Rojas, X. (2015) *Impacto social de las prótesis de los amputados*. Acta de la sesión del 4 de marzo del 2015. Academia Nacional de Medicina.

Root, W. (2014) Exo Prosthetic Leg. *behance*. [En línea]. 21 de octubre de 2014. Disponible en <https://www.behance.net/gallery/20696469/exo-prosthetic-leg> [23 de julio 2016].

Dr. Ruiz, L. y Dra. Espinoza, I. (2015) *Manejo de los amputados un reto para el estado. Ayer y hoy*. Acta de la sesión del 4 de marzo del 2015. Academia Nacional de Medicina.

Sánchez, S. (Reportero). (2015) *Piernas y brazos sin medida*. [Reportaje televisivo]. Ciudad de México: Noticieros Televisa.

TED talks (2011). Anthony Atala: imprimiendo un riñón humano. [Vídeo online]. Disponible en https://www.ted.com/talks/anthony_atala_printing_a_human_kidney?language=es [20 de julio 2016].

TEDxTalks (2014). *Life enhancing prosthetics - 3D printed and open sourced: Ivan Owen*. [Vídeo online]. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=peoZJRtnPiA> [20 de

julio 2016]

Vazhnov, A. (2013). *Impresión 3D: Como va a cambiar el mundo*, Instituto Baikal, Editorial Baikal

Dr. Vazquez, E. (2015) *Los amputados, un reto para el estado*. Acta de la sesión del 4 de marzo del 2015. Academia Nacional de Medicina.

Acerca Del Autor (Autores)

D.I. Jesús Eugenio Ricardez Sánchez, egresado de la Universidad del Valle de México, trabaja en el estudio de innovación sustentable *Huella Cero* donde colabora con la iniciativa *Proyecto CREA*, dedicada ayudar a las personas a mejorar su calidad de vida, por medio del desarrollo de prótesis, órtesis y soluciones técnicas elaboradas mediante procesos de fabricación digital a amputados traumáticos, así como adultos y niños con deficiencias congénitas. Actualmente es estudiante de maestría en Diseño y Desarrollo de Productos en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco bajo el tema de investigación “Diseño y desarrollo de un sistema que supla las funciones del miembro superior, ante amputación a nivel transhumeral, para el desarrollo de actividades cotidianas mediante manufactura aditiva”.

D.I. Arturo Zamora M., egresado del Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México. Miembro fundador del estudio “*Huella Cero*”, empresa especializada en el desarrollo integral de proyectos creativos e innovadores. En su opinión, el desarrollo sustentable es de suma importancia. Por lo que se esfuerza en ofrecer soluciones capitalizables, respetuosas con el medio ambiente e impulsoras del desarrollo social para generar situaciones de ganar – ganar para todos los involucrados

Autorización y Renuncia

El (o los) autores del presente artículo autorizan al Área de Administración y Tecnología para el Diseño, para publicar el escrito en la *Compilación de Artículos de Investigación (2016)*. El Área de Administración y Tecnología o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que está expresado en el escrito.