

GENTE CLAVE

Revista Académica / Academic Journal

ISSN 2521-5795

E-ISSN 2644-3864



VOLUMEN 3 NUMERO 2
JULIO-DICIEMBRE
2019

Editorial

La difusión del conocimiento en el ámbito académico es uno de los pilares que fomenta la creación de capacidades científicas en estudiantes y docentes, la revista Gente Clave / Key People en esta edición presenta el trabajo realizado por estudiantes y docentes en el área de ingeniería biomédica, tecnología y negocios, logrando un entrelazado de saberes que permiten sembrar un granito más en el proceso de la ciencia y la determinación investigativa.

En la búsqueda de nuevos conocimientos seguimos arando este camino de investigación, aportando significativos aportes desde los pares evaluadores, quienes con sus apreciaciones apoyan la difusión en la revista y permiten encontrar un camino hacia la innovación y creación de redes de conocimiento.

En cada edición seguimos creciendo en miras de proyectarnos como un espacio de divulgación para otros autores en diferentes disciplinas. Desde la dirección de investigación seguimos promoviendo las iniciativas de investigación entre docentes y estudiantes para consolidar este importante pilar en la academia.

Dra. Gianna Frassati
Editora

Integrada en:



Dirección postal
Av. Ricardo J. Alfaro. Tumba Muerto
Universidad Latina de Panamá
Apdo. postal 0823-00933 Panamá, república de Panamá
Telf.: (507) 230-8674 Escribir en Gente Clave:
genteclave@ulatina.edu.pa

Gente clave Volumen 3, Nº 2 (Julio-Diciembre 2019)

©Derechos Reservados 2019

Agradecimientos

El comité editorial agradece a las personas que han colaborado con esta publicación en calidad de revisores y árbitros, y a los autores quienes gentilmente enviaron sus trabajos.

Los colaboradores editoriales de este número fueron profesores e investigadores de Instituto Ontológico Nacional Dr. Juan Demóstenes Arosemena, la Universidad del Zulia, UDELAS, UTP, Instituto de Bioingeniería de Cataluña (España), UIP, Universidad de Panamá.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMO PARA LA ASIGNACIÓN DE ESTACIONES DE TRABAJO CON METODOLOGIA DE TARJETAS CON GEL PARA PRUEBAS INMUNOHEMATOLÓGICAS

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ALGORITHM TO ALLOCATE WORK STATIONS WITH GEL CARD METHODOLOGY FOR IMMUNOHEMATOLOGICAL TESTS

AUTORES: SHARON CUBAS¹, ERNESTO IBARRA²

¹Estudiante de la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá. ²Docente de la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá

Correos: cubassharon@hotmail.com; ernestoibarra@ulatina.edu.pa

Recibido: 10 de junio de 2019

Aceptado: 21 de junio de 2019

Resumen

PALABRAS CLAVE:

*Bio-Rad,
Biomédica,
estaciones de
trabajo, bancos
de sangre.*

La presente investigación tiene como objetivo diseñar e implementar un algoritmo de apoyo para la asignación de estaciones de trabajo para pruebas inmunohepatológicas, basadas en la metodología Bio-Rad, el cual permita elegir la mejor opción entre las estaciones disponibles. En Panamá, la asignación de estas estaciones de trabajo se realiza tomando en cuentas varios aspectos del banco de sangre como: su tamaño, cantidad de donantes, cantidad de pacientes y presupuesto. En ocasiones la toma de esta decisión no es tan evidente, por lo cual se pueden presentar errores que pueden ocasionar desde la adquisición de equipos inadecuados hasta impactar negativamente en la productividad del banco de sangre. En este contexto, se desarrolló una metodología intuitiva y rápida que brinda apoyo al asesor técnico en esta tarea, utilizando solamente la cantidad de donantes atendidos durante el año anterior. La metodología se estructuro en forma de algoritmo y se desarrolló en el lenguaje de programación C++. El sistema para la asignación de estaciones de trabajo se probó en ocho bancos de sangre ubicados en hospitales públicos de la república de Panamá. Después de la aplicación del algoritmo, se pudo observar que el 37.5% de los bancos de sangre estudiados contaban con estaciones de trabajo que no iban de acuerdo a su carga de trabajo actual. Como primera aproximación, el algoritmo ha demostrado practicidad y rapidez para el apoyo en la asignación eficiente de las estaciones de trabajos para pruebas inmunohepatológicas.



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

KEYWORDS:

*BIO-RAD,
Biomedical, work
stations, blood
banks.*

Abstract

The purpose of this research is to design and implement a support algorithm for work stations assignment for immunohematological tests, based on the BIO-RAD methodology, which allows choosing the best option among the available stations. In Panama, the allocation of these work stations is done by taking into account various aspects of the blood bank such as: size, number of donors, number of patients and budget. Sometimes the decision making is not so obvious, which can generate errors that can cause from the acquisition of inadequate equipment to negatively impact the productivity of the blood bank. In this context, an intuitive and rapid methodology was developed that provides support to the technical advisor in this task, using only the number of donors assisted during the previous year. The methodology was structured in the form of an algorithm and was developed in the C ++ programming language. The system for assigning work stations was tested in eight blood banks located in public hospitals of the Republic of Panama. After the application of the algorithm, it was revealed that 37.5% of the blood banks studied had work stations that were not according to their current workload. As a first approximation, the algorithm has demonstrated practicality and speed for the support in the efficient assignment of work stations for immunohematological tests.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de una unidad de medicina transfusional y banco de sangre es la selección de donantes, recolección, análisis, procesamiento, almacenamiento y la distribución de la sangre y sus componentes. El banco de sangre es responsable de realizar pruebas en el donante y en el paciente receptor de la unidad de sangre.

El proceso de recolección de una unidad inicia con la extracción de una muestra de sangre proveniente de un donante, la cual es colocada en un tubo con anticoagulante. A la muestra extraída se le realiza un hemograma completo que determinará si el donante cumple con todos los criterios necesarios como: el conteo de glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. Posteriormente, si la muestra cumple con los criterios se realizará la extracción de 450 centímetros cúbicos de sangre del donante a una bolsa simple para recolección de sangre con preservante y segmentos de recolección (Cruz Roja Española).

Estos segmentos, con parte de la muestra extraída, serán sometidos a diversas pruebas una de las cuales es la inmunohematológicas. Las pruebas inmunohematológicas sirven para determinar aspectos como:

- La agrupación ABO: mejor conocido como el tipaje de sangre. Prueba que determina el grupo sanguíneo, sea este A, B, AB u O.

- La clasificación Rh: prueba para determinar la presencia de antígenos Rh. Esta clasificación puede ser positiva en presencia de la proteína Rh o negativa en su ausencia.
- El rastreo de anticuerpos irregulares: prueba que determina la presencia de distintos sistemas de anticuerpos sensibilizados in-vitro, es decir, que identifica si el paciente o donante ha desarrollado anticuerpos debido a transfusiones anteriores de hemocomponentes.

La realización de estas pruebas es importante para establecer la compatibilidad de la unidad de sangre extraída con el receptor. Actualmente, estas pruebas inmunohematológicas son realizadas por equipos biomédicos que dependiendo su nivel de automatización necesitarán más o menos intervención de un laboratorista clínico. Existen varias metodologías para la realización de pruebas inmunohematológicas. Nuestra investigación se centrará específicamente en la metodología basada en tarjetas con gel. Esta consiste en utilizar una tarjeta con pocillos que contiene distintos tipos de gel que, al centrifugarse, y en ciertas ocasiones incubarse, con plasma o glóbulos rojos arrojarán una reacción interpretable de acuerdo a la prueba que se realice.

En Panamá, una de las marcas más comercializadas de esta metodología de gel es Bio-Rad. Las tarjetas con gel utilizan equipos diseñados especialmente para trabajar con las mismas. Estos equipos son denominados estaciones de trabajo y son clasificados según su nivel de automatización o complejidad. Existen tres tipos de automatización que se pueden relacionar con las estaciones de trabajo para pruebas inmunohematológicas, siendo estas: Estaciones de trabajo manuales, Estaciones de trabajo semiautomatizadas, y Estaciones de trabajo automatizadas.

Los equipos que dependan completamente de un operario para su pipeteo e interpretación serán denominados estaciones de trabajo manuales. Mientras que, los que puedan ser pipeteados e interpretados por dos equipos con la intervención del operario para el transporte de las tarjetas, serán llamados estaciones de trabajo semiautomatizadas; y los equipos que no necesiten en absoluto de un operario serán llamados estaciones de trabajo automatizadas.

En Panamá, la empresa DiaMed es el distribuidor exclusivo de los equipos de inmunohematología de la marca Bio-Rad. Es por ello, que los asesores técnicos de dicha empresa son los encargados de la asignación de las estaciones de trabajo a los distintos bancos de sangre de nuestro país. Los asesores técnicos deben tomar en cuenta múltiples variables para realizar la correcta asignación de una estación de trabajo. En el caso de una asignación inadecuada, se pueden producir afectaciones al servicio del banco de sangre,

pudiendo causar daños económicos, así como también disminuir su rendimiento y la productividad.

La asignación de las estaciones de trabajo es una tarea rutinaria de los asesores técnicos la cual no está exenta de errores humanos. Actualmente las asignaciones de estaciones de trabajo son realizadas sin el apoyo de alguna herramienta, ni procedimiento preestablecido.

El proyecto desarrollado tiene como alcance el diseño e implementación de un algoritmo para la asignación de estaciones con metodología de tarjetas con gel. Esta metodología, actualmente es la más utilizada en los principales bancos de sangre de los hospitales en la República de Panamá.

Desarrollo

Adquisición de Equipos Médicos

El proceso de adquisición de equipos médicos es una labor compleja. Por lo que la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), ente encargado de gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial define este proceso como: *“Una tarea compleja y requiere un procedimiento transparente basado en criterios racionales, en datos científicos y en la evaluación de las necesidades de salud pública prioritarias...”*. Dicha organización advierte que *“... Las decisiones equivocadas tienen como consecuencia un uso inadecuado o la falta de uso de los dispositivos médicos y un despilfarro de recursos...”*, identificando problemáticas en el proceso de la selección racional del equipamiento médico como lo son *“... la fascinación por la tecnología, una mercadotecnia intensa, los costos altos y una información insuficiente sobre el dispositivo...”*. En este contexto la O.M.S. indica como posible solución al proceso de adquisición de equipos médicos *“... la mejora del acceso a información para la toma de decisiones y una mayor función de los ingenieros biomédicos u otros expertos equiparables...”*. (O.M.S. 2012, p.xi)

Varios autores han sistematizado el proceso de distintas maneras, por ejemplo, la autora Tania García Martínez (2008) elaboró el *“Procedimiento para evaluación y adquisición de tecnología médica”* el cual tiene como propósito mantener disponible y vigente la tecnología médica para proporcionar servicios de alta especialidad. El procedimiento que desarrolló la García Martínez consta de ocho (8) etapas para la adquisición de los equipos las cuales son: solicitud de renovación o adquisición de tecnología médica, evaluación de la necesidad, evaluación técnica de tecnología, elaboración de presupuesto, certificado de necesidad, autorización de presupuesto, elaboración de requisición y por último la adquisición de la tecnología. Cada etapa del proceso fue aplicada a un algoritmo para que su utilización fuese más fácil. En dicho artículo se pone de manifiesto la relevancia del uso

de algoritmos en procesos y métodos de adquisición de tecnología médica (Martínez, 2008).

En este orden de ideas, la autora Tatiana Molina presenta: *“Ingeniería Clínica para no ingenieros: adquisición de equipos médicos”*. Este artículo tiene como finalidad proveer al personal una guía básica que facilite el proceso de adquisición y manejo de la tecnología médica. Este autor describe doce pasos para la adquisición de equipos: definir las necesidades reales del hospital, identificar la tecnología que cubre la necesidad, crear requerimientos técnicos, obtener un presupuesto, obtener cotizaciones, presentar una propuesta, demostraciones de los equipos, evaluación de soporte e ingeniería, negociación de precio y soporte, instalación e inspección, capacitación y manejo del inventario. Nuevamente se adapta cada paso a un algoritmo con el fin de que sea de fácil comprensión y aplicación. De este artículo se puede concluir que para que una adquisición sea exitosa debe llevarse a cabo una correcta planeación y se deben tener en cuenta todos los aspectos que determinen el correcto funcionamiento del equipo (Molina, 2007).

Thalía Rivera (2016) presentó la tesis *“Recomendaciones para la adquisición de equipo médico en el sistema nacional de salud”* la cual tiene como objetivo presentar recomendaciones para la adquisición de equipamiento médico tomando como pilar múltiples casos de mala administración de los recursos en México. Dentro de las recomendaciones que se mencionan están: la evaluación de existencia del equipamiento y de las necesidades actuales, la población que se verá beneficiada con la adquisición, la cantidad de insumos que serán necesarios, aspectos técnicos del equipo o instrumento y presupuesto o recursos necesarios. Este documento presenta sugerencias de aspectos necesarios para evitar una mala asignación y uso de los recursos. Este autor propone fuertemente que se tomen en cuenta todos los aspectos que puedan afectar negativamente la asignación de las estaciones de trabajo (Rivera, 2016).

La O.M.S (2012) elaboró la *“Guía de recursos para el proceso de adquisición”*. Este documento tiene como objetivo servir de ayuda y estructurar el desarrollo de un proceso eficaz y transparente de adquisición de tecnologías sanitarias. Esta guía toma como referencia el modelo de ciclo de vida de la tecnología sanitaria para realizar procesos de adquisición y gestión. La O.M.S. estructura el proceso de adquisición de la siguiente manera: evaluación de la tecnología, evaluación de dispositivos, planificación y evaluación de las necesidades, adquisición, instalación, puesta en servicio y seguimiento. Esta guía concluye que cuando la asignación se lleva a cabo siguiendo esta estructura el personal realizará una labor clara aplicando las normas aceptadas (Guía de recursos para procesos de adquisición, 2012).

Continuando con esta temática, Gabriela Estrada presenta: *“La ingeniería biomédica en la gestión de equipo médico”* (2016) donde presenta tres etapas que conforman el sistema de

gestión de equipos médico. La primera etapa corresponde a la evaluación y adquisición, la segunda etapa es el uso del equipo y la tercera gestión del mantenimiento. Este documento tiene como finalidad crear estrategias que permitan la correcta asignación de equipos mediante el seguimiento y control de análisis que garanticen su viabilidad económica y técnica (Estrada, 2016). Por otra parte, O.L. Albert, et al (2001) presentan su trabajo *“Metodología para la adquisición de equipos médicos basados en experiencias prácticas”*. Dicho trabajo tiene como objetivo optimizar los recursos y asegurar la calidad de los servicios de la salud mediante experiencias acumuladas por algunas instituciones que hayan obtenido equipos médicos. Los autores alegan que es necesaria la creación de un grupo multidisciplinario integrado por: representantes gerenciales, especialistas médicos, representantes financieros e ingenieros de las especialidades objetos de la inversión (Albert, Tellez, & Cruz, 2001).

Algoritmos para apoyar a la toma de decisiones en salud

Muchas estrategias para solucionar problemas pueden ser implementadas en forma de algoritmos de apoyo para la toma de decisiones. Por ejemplo, Fredi Alexander Diaz-Quijano et al (2008) presentaron un estudio titulado: *“Reducción de la hospitalización mediante un algoritmo de manejo del dengue en Colombia”*. Este estudio tenía como principal objetivo evaluar el efecto del uso de un algoritmo para el manejo de la tasa de hospitalización de probables pacientes con dengue en una institución de primer nivel en Colombia. El método consistía en recabar datos durante dos periodos, antes y después de la implementación del algoritmo. El algoritmo incluía: recomendaciones para el diagnóstico de los pacientes, sistema para la programación de consultas de control, criterios para hospitalización y suspensión del tratamiento. La muestra de este estudio incluía sólo pacientes que presentaran síndrome febril agudo. Durante el primer periodo, sin el algoritmo se obtuvo 44 hospitalizaciones y en el periodo que abarcaba el uso de algoritmo 13, reduciendo significativamente el número de hospitalizaciones por posibles dengues.

Este estudio sugiere que es factible optimizar los recursos de hospitalización en el manejo del dengue mediante el uso del algoritmo. En este estudio, los resultados sugieren que es posible optimizar procesos en los que puede haber error humano, mejorando tanto la utilización como la asignación de los recursos (Diaz-Quijano, Villar-Centeno, & Martínez-Vega, 2011).

En esta misma línea, Waldo Aaron Uribe Fache (2016) presentó el proyecto *“Implementación de software para la detección de daño renal agudo (aki)”* donde su objetivo era implementar un software para la detección de Insuficiencia renal aguda en el Hospital Clínico de la Universidad de Chile para caracterizar estadísticas sobre la incidencia de esta enfermedad. El autor diseñó un software con la siguiente metodología: un levantamiento general de requisitos, estudio de factibilidad, toma detallada de requisitos,

implementación del software, análisis y exposición de los resultados. Al terminar el estudio, el algoritmo concluyó que el daño renal agudo es una enfermedad sub-diagnosticada en el hospital de prueba (FACHE, 2016).

Metodología Bio-Rad para pruebas inmunohematológicas

Bio-Rad es una empresa especializada en el desarrollo y manufactura de productos para diagnóstico clínico. La misma suministra productos y sistemas utilizados en procesos de separación de sangre y agentes biológicos complejos. Dicha empresa distribuye las tarjetas con gel y los equipos para el procesamiento de las mismas, entre otros insumos para lograr las reacciones deseadas.

Referente a la metodología Bio-Rad, Hustinx H, et al (2016) presentaron un estudio acerca de la *“Comparación de sensibilidad y especificidad de las tarjetas de identificación Bio-Rad LISS / Coombs con las tarjetas Grifols Gel Coombs en un enfoque manual”*. En dicha investigación se compara una misma metodología de tarjetas con gel de distintas casas comerciales para la prueba de identificación de anticuerpos. Esta investigación tuvo como objetivo comparar la eficacia de dos métodos similares utilizados por la mayoría de los laboratorios de inmunohematología en Suiza. Para lograr este objetivo se utilizaron 1001 muestras aleatorias y 200 muestras con anticuerpos previamente investigados escogidos por: su relevancia clínica, su débil reacción o reacción específica. Los materiales utilizados fueron tarjetas de Coombs juntos con 3 tipos de células de Bio-Rad y Grifols. Ambos sistemas de detección de anticuerpos mostraron un buen desempeño con una sensibilidad del 100% y con una especificidad de un 99.8% de las 1001 muestras analizadas (Hustinx H, 2016). Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que propone que el sistema de Bio-Rad cuenta con gran efectividad comparado con otros métodos similares. El sistema de Bio-Rad es utilizado por el 92% de los hospitales en Panamá mientras que el de Grifols sólo se utiliza en dos hospitales privados en todo el país.

Bio-Rad Medical Diagnostics GmbH (2016) publicó el Resumen 510(k) donde se muestra la efectividad y seguridad de las estaciones de trabajo automatizadas mediante la comparación con otro equipo equivalente que ya han sido aprobado por la Food and Drugs Administration (F.D.A), con el fin de introducirlo al mercado. Este estudio desarrolla la descripción del equipo y uso previsto de la estación de trabajo IH-1000. El IH-1000 es un equipo automatizado para realizar pruebas inmunohematológicas. Sus principales características tecnológicas fueron comparadas con el equipo ORTHO ProVue que es un equipo que cumple la misma función, pero de otra marca. Dicho estudio, también puso a prueba la reproducibilidad de los resultados del equipo en cuestión. En este estudio se concluyó, que el equipo IH-1000 es seguro, efectivo y equivalente a otros equipos que ya se encontraban en el mercado.

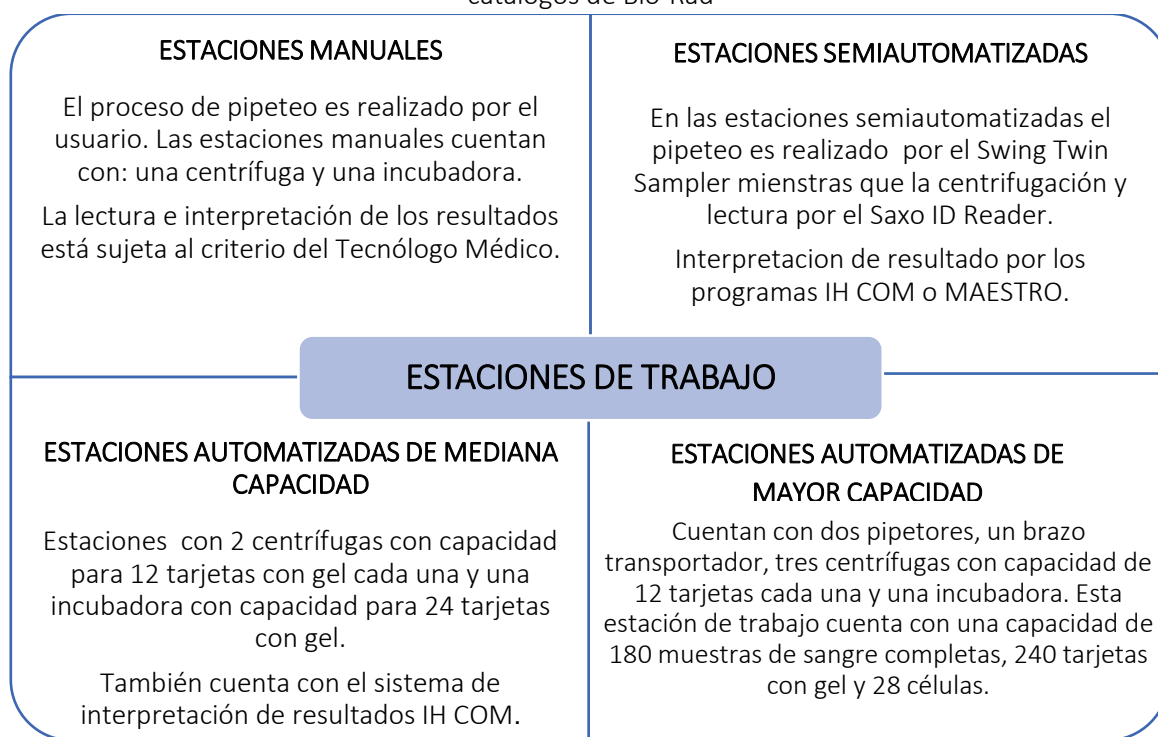
La relevancia de este estudio en la investigación se centra en el hecho que ya está demostrado que el equipo IH-1000, uno de los equipos más utilizados en las estaciones de trabajo automatizadas, es seguro para su uso (Bio-Rad, 2016). En Panamá, esta estación de trabajo automatizada se encuentra instalada en dos importantes centros hospitalarios públicos, del área metropolitana, los cuales son: el Hospital Santo Tomás, y el Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid.

Estaciones de trabajo Bio-Rad

La estación de trabajo es un equipo o conjunto de equipos, de la marca Bio-Rad, que cumplen una función de procesamiento de muestras para pruebas inmunohematológicas. Las estaciones de trabajo se pueden clasificar en tres categorías: estaciones manuales, estaciones semiautomatizadas y estaciones de trabajo automatizadas. En la Figura 1, se muestran los equipos que componen las estaciones de trabajo.

Figura 1

Tipos de estaciones de trabajo según su nivel de automatización. Elaboración propia a base de catálogos de Bio-Rad



Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

Método

El objetivo del presente trabajo es diseñar e implementar un algoritmo de apoyo para la asignación de estaciones de trabajo para pruebas inmunohematológicas, según el volumen

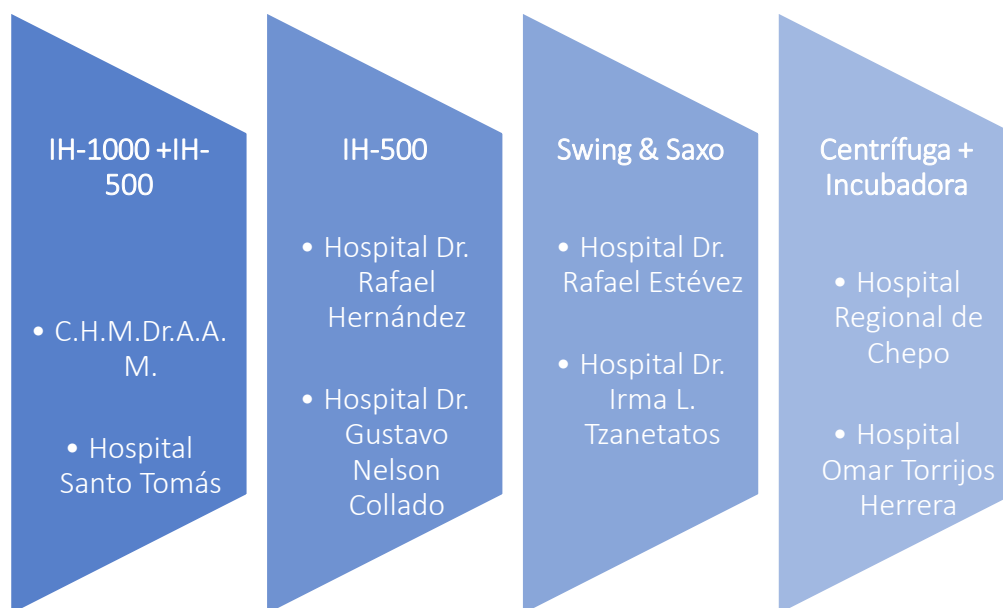
de pacientes anuales. Como parte del estudio se analizará la situación actual en cuanto a equipamientos para la realización de pruebas inmunohematológicas para bancos de sangre en la República de Panamá; se implementará y comprobará el funcionamiento del algoritmo para la asignación de estaciones de trabajo en ocho bancos de sangre a nivel nacional.

Con el fin de poder comprobar el funcionamiento del algoritmo se seleccionó la muestra, la cual comprende los Bancos de Sangre del sector público que tengan implementados estaciones de trabajo con metodología de tarjetas con gel y que posean instalado el sistema informático E-delphyn. Para este estudio se realizó un cálculo de muestro por conveniencia. Se considera este tipo de muestreo, puesto que se escogieron bancos de sangre de los cuales contábamos con mayor accesibilidad a su base de datos para adquirir la información de la cantidad de donantes anuales, y de la estación de trabajo instalada.

El sector público en Panamá está compuesto por instituciones del Ministerio de Salud (MINSa) y de la Caja del Seguro Social (C.S.S.). El MINSa cuenta con dieciocho hospitales con bancos de sangre bajo su jurisdicción, de los que se tomó en cuenta uno para el estudio, que es el Hospital Santo Tomás (Ciudad de Panamá, Panamá). En cuanto a la C.S.S., cuenta con quince hospitales con bancos de sangre de los cuales utilizaremos siete, los cuales son: Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid, Hospital Dr. Rafael Hernández, Hospital Dr. Gustavo Nelson Collado, Hospital Dr. Rafael Estévez, Hospital Dra. Irma Tzanetatos, Hospital Regional de Chepo, y el Hospital Omar Torrijos Herrera.

Los hospitales de la muestra fueron seleccionados de tal forma que se contara con los cuatro tipos de estaciones de trabajo como se muestra en la Figura 2.

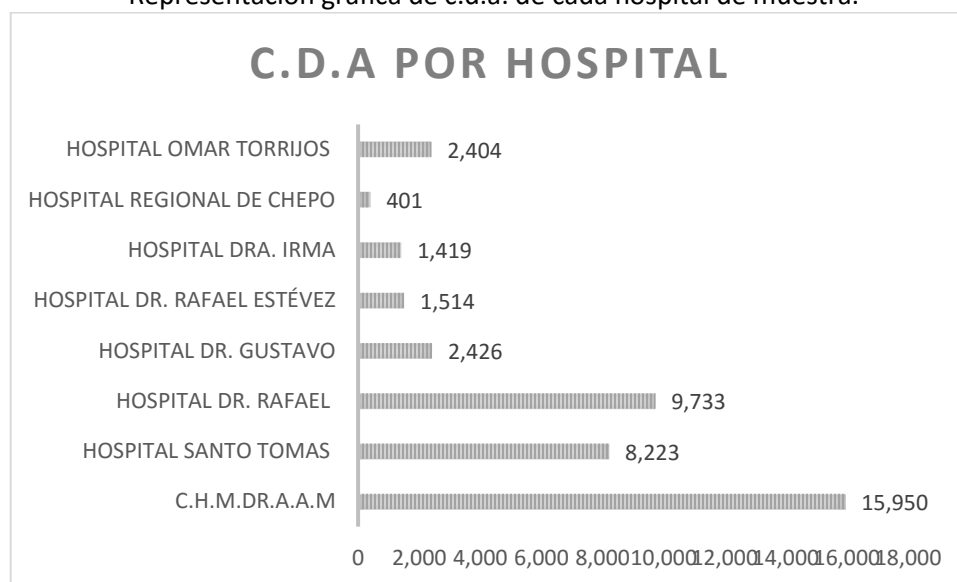
Figura 2
Equipos instalados en los hospitales de muestra.



Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

Los registros de la cantidad de donantes aceptados por año (c.d.a.) serán obtenidos del sistema E-delphyn. Estos serán recolectados durante el periodo que comprende de enero a diciembre de 2017, es decir, un año. Este software es un sistema de gestión de datos para bancos de sangre desarrollado por la empresa Hemasoft. E-delphyn utiliza una plataforma web con una arquitectura Java N-Tier. Este sistema permite el control de la información tanto de los pacientes como donantes y permite a los usuarios obtener información detallada de los componentes sanguíneos. E-delphyn también cuenta con un módulo estadístico que almacena datos de años previos, como cantidad de donantes, cantidad de pacientes, donaciones rechazadas, entre otros (Ual Medical, 2017). El c.d.a. fue elegido como parámetro de entrada de nuestro algoritmo, puesto que es proporcional a la capacidad de procesamiento de muestras de las estaciones de trabajo. La c.d.a. de los ocho hospitales en estudio se muestra en la Gráfica 1.

Gráfica 1
Representación gráfica de c.d.a. de cada hospital de muestra.



Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

Instrumento

Como se ha mencionado previamente en este estudio, la variable que se utilizará como entrada en el algoritmo es la c.d.a.. Un donante es una persona que voluntariamente accede a entregar algo que posee. Por lo que cantidad de donantes de sangre se interpretará como un valor numérico que representa el número de personas que dona sangre. Por lo anterior, se puede expresar c.d.a. de la siguiente forma:

$$c.d.a = \frac{c.d.}{U.Tiempo} + Idaf \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

c.d.a: cantidad de donantes anuales (donantes/año).

c.d.: registro o valor numérico referente a la cantidad de donantes (donantes).

U. Tiempo: unidad de tiempo (años).

Idaf: valor de incremento a futuro de donantes (donantes/años).

Teniendo en cuenta que los equipos se instalan en calidad de comodato, se contempla un incremento del 10% de donantes anualmente. Por lo que a los registros de c.d.a del 2017 se le sumarán este valor. Se añadió un valor de incremento a futuro puesto que se pretende que la estación de trabajo sea útil para el banco de sangre durante sus 10 años de vida. Por lo anterior el cálculo del Idaf se realizara como:

$$Idaf = \frac{c.d.}{U.Tiempo} \times \%Idaf_c \quad \text{Ecuación 2}$$

Cada estación de trabajo cuenta con un rango de procesamiento de muestras. Cada rango dispone de un límite inferior y un límite superior.

Tomando en cuenta que tenemos tres tipos de estaciones de trabajos, se deben generar los rangos para cada tipo de configuración, dependiendo de la capacidad de estas. Como podemos visualizar en la Tabla 1, para cada configuración de las estaciones de trabajo se obtiene un rango.

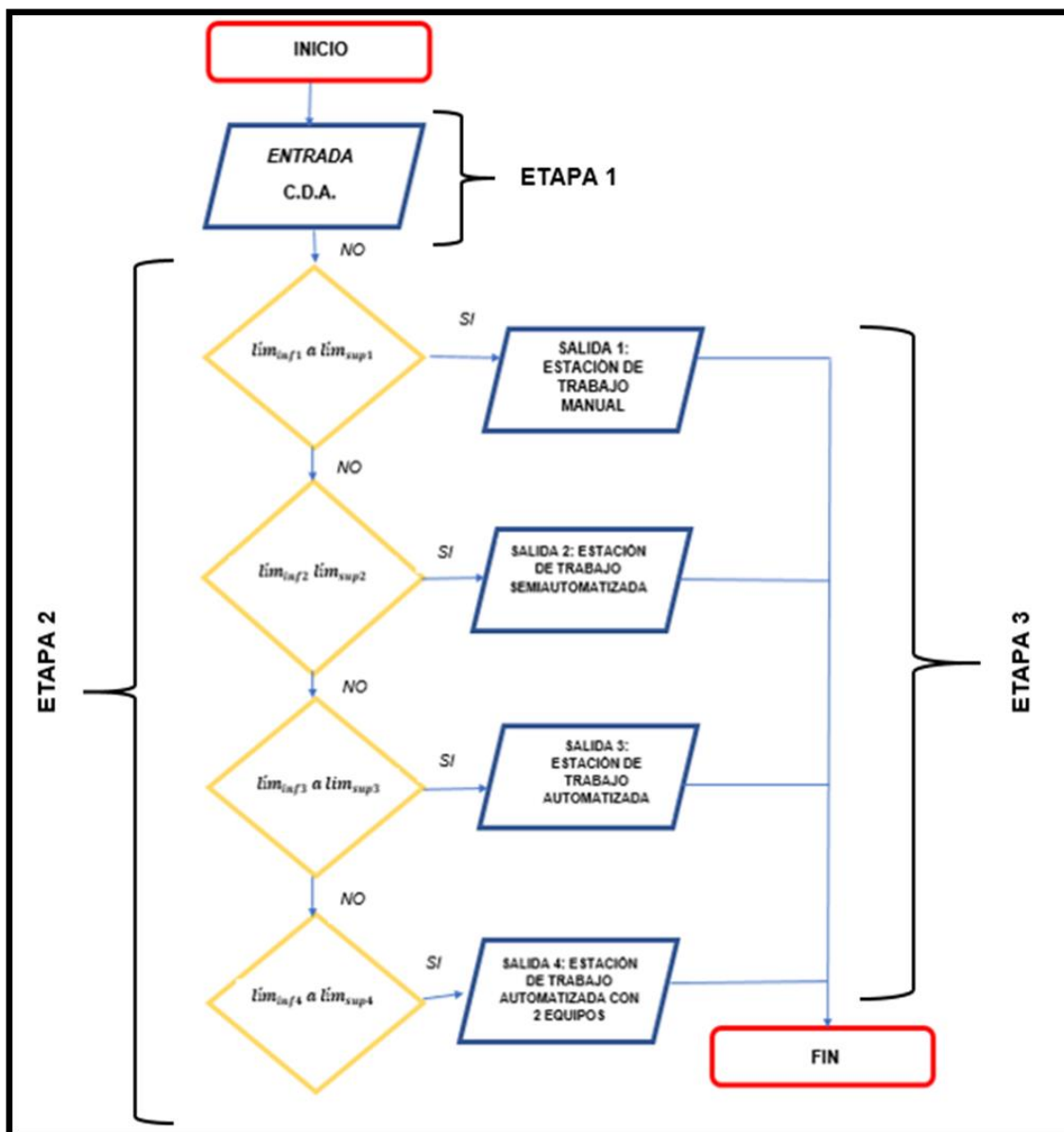
Tabla 1
Rangos para las configuraciones de estaciones de trabajo.

No.	Estación de trabajo	Tipo de estación	Expresión de los rangos	Rango	
				$lím_{inf n}$	$lím_{sup n}$
1	Centrífuga + Incubadora	Manual	$lím_{inf 1} a lím_{sup 1}$	0	1000
2	S.T.S + Saxo	Semiautomatizada	$lím_{inf 2} lím_{sup 2}$	1001	2500
3	IH-500	Automatizada	$lím_{inf 3} a lím_{sup 3}$	2501	6000
4	IH-1000	Automatizada	$lím_{inf 4} a lím_{sup 4}$	6001	14,500

Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

En cuanto al algoritmo, fue diseñado para que sea intuitivo y fácil de aplicar por el asesor técnico. Esta es la razón por la cual se eligió solamente una variable de entrada, puesto que con la misma se puede predecir las necesidades futuras del banco de sangre. En la estructura del algoritmo se pueden apreciar cuatro procesos de toma de decisiones, cada una con su respectiva salida. En la etapa 1 del proceso se debe introducir el valor de c.d.a. Posteriormente en la etapa 2, el valor del c.d.a pasará por el primer rango, si éste se encuentra dentro de los límites se obtendrá una salida (etapa 3), de no ser así se irá desplazando por cada rango hasta que encuentre uno adecuado y así se asignará la estación más apropiada según su necesidad. (Ver Figura 3).

Figura 3
Algoritmo desarrollado



Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

El entorno elegido para desarrollar el algoritmo fue DevC++ y el lenguaje utilizado fue C++. Con la programación del algoritmo se obtendrá una forma más dinámica de realizar el proceso de análisis para la asignación de estaciones de trabajo. El código del programa funciona de la siguiente manera:

1. Se introduce el c.d.a. *El programa leerá la entrada.*

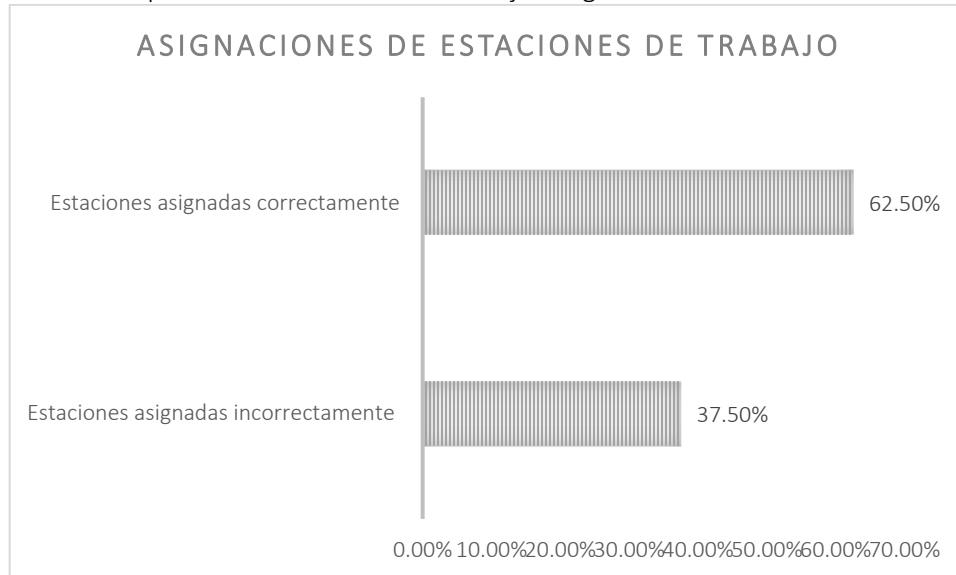
2. Si el valor ingresado se encuentra dentro del primer rango, comprendido entre \lim_{inf1} y \lim_{sup1} , la salida o resultado será: "APLICA PARA INSTALACIÓN DE ESTACIÓN MANUAL CENTRÍFUGA E INCUBADORA". Fin del programa.
3. Si el valor ingresado se encuentra dentro del segundo rango, comprendido entre \lim_{inf2} y \lim_{sup2} , la salida o resultado será: "APLICA PARA INSTALACIÓN DE ESTACIÓN SEMIAUTOMATIZADA SWING & SAXO". Fin del programa.
4. Si el valor ingresado se encuentra dentro del tercer rango, comprendido entre \lim_{inf3} y \lim_{sup3} , la salida o resultado será: "APLICA PARA INSTALACIÓN DE ESTACIÓN AUTOMATIZADA IH-500". Fin del programa.
5. Si el valor ingresado se encuentra dentro del cuarto rango, comprendido entre \lim_{inf4} y \lim_{sup4} , la salida o resultado será: "APLICA PARA INSTALACIÓN DE ESTACIÓN AUTOMATIZADA CON 2 EQUIPOS". Fin del programa.

Resultados

Tras haber aplicado el algoritmo a cada hospital de la muestra podemos concluir que, de la muestra analizada, 62.5% contaba con estaciones de trabajo asignadas correctamente, a pesar de que éstas fueron asignadas sin el uso del algoritmo, y que un 37.5% de la muestra cuenta con estaciones de trabajo que no van de acuerdo de su c.d.a (ver Gráfica 2).

Gráfica 2

Gráfica comparativa de hospitales con estaciones de trabajo asignadas correctamente vs. Hospitales con estaciones de trabajos asignadas incorrectamente.



Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

De acuerdo con los resultados obtenidos, los bancos de sangre de los hospitales Santo Tomás, Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid, Hospital Regional de Chepo, Hospital Dra. Irma Lourdes Tzanetatos y el Hospital Dr. Rafael Estévez cuentan

con estaciones de trabajo adecuadas para su c.d.a. Mientras que el Hospital Omar Torrijos Herrera que cuenta actualmente con una estación de trabajo manual debería tener instalado una estación de trabajo semiautomatizada, el Hospital Dr. Gustavo Nelson Collado que tiene instalada una estación de trabajo automatizada según su c.d.a debería tener instalada una estación semiautomatizada y el Hospital Dr. Rafael Hernández tiene instalado una estación de trabajo automatizada con un equipo y debería contar con dos equipos automatizados.

Conclusiones

Una vez concluido el estudio podemos determinar que:

- La asignación de equipo médico es un proceso complejo que debe ser realizado de forma sistemática para evitar posibles errores que lleven a tomar una mala decisión. Muchas veces los procesos de selección de un equipo médico toman periodos considerablemente altos, por lo cual la aplicación de un algoritmo puede facilitar y agilizar dicha tarea.
- La metodología Bio-Rad de tarjetas con gel es equivalente a otras metodologías utilizadas en Panamá para realizar pruebas inmunohematológicas, por lo cual nuestro algoritmo para la asignación de estaciones de trabajo no solamente puede ser utilizado para la marca Bio-Rad, sino que también podría ser utilizado para sistemas con configuraciones similares.
- Mediante la utilización de nuestro algoritmo se pudo determinar que el 62.5% de las estaciones de trabajo estaban asignadas de forma correcta, esto es debido a que los equipos elegidos por los asesores técnicos cumplían con los c.d.a manejados por los bancos de sangre.
- Después de la aplicación del algoritmo, se pudo revelar que el 37.5% de los bancos de sangre estudiados contaban con estaciones de trabajo asignadas erróneamente. Dos bancos de sangre tenían equipos asignados de mayor capacidad a la requerida por su c.d.a. mientras que un banco de sangre tenía asignado una estación de trabajo de menor capacidad para su actual c.d.a.
- Como se ha podido analizar anteriormente, la aplicación del algoritmo ha demostrado ser de gran utilidad en la comprobación de las asignaciones de las estaciones de trabajo realizadas previamente de forma tradicional, es decir, con el criterio del asesor técnico. Igualmente, se ha demostrado ser de gran ayuda para los asesores técnicos puesto que es una herramienta de gran facilidad y rapidez para la asignación de las estaciones de trabajo.

- El uso de un algoritmo para la asignación de estaciones de trabajo puede reducir significativamente el error humano en dicha tarea, puesto que permite al asesor técnico concentrarse en el c.d.a y no en la elección del mejor sistema para el banco de sangre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albert, O., Tellez, I., & Cruz, A. (2001). *Metodología para la adquisición de equipos médicos basados en experiencias prácticas*. La Habana.

Batista, M. (16 de julio de 2016). La ingeniería biomédica y la atención a la salud en Panamá. *La Estrella de Panamá*.

Bio-Rad. (septiembre de 2016). FDA. Obtenido de Bio-Rad Medical Diagnostics GmbH 510(k) Summary: <https://www.fda.gov/downloads/BiologicsBloodVaccines/BloodBloodProducts/ApprovedProducts/SubstantiallyEquivalent510kDeviceInformation/UCM526710.pdf>

Bio-Rad Laboratories. (s.f.). Obtenido de Swing TwinSampler: http://www.diamed.com/product_detail.aspx?id=839

Bio-Rad Laboratories. (s.f.). Obtenido de Swing TwinSampler: http://www.diamed.com/product_detail.aspx?id=839

Bolívar, G. (s.f.). *Lifeder*. Obtenido de Centrifugación: en qué consiste, tipos, importancia, ejemplos: <https://www.lifeder.com/centrifugacion/>

Bolívar, G. (s.f.). *Lifeder*. Obtenido de Centrifugación: en qué consiste, tipos, importancia, ejemplos: <https://www.lifeder.com/centrifugacion/>

Castaño, J. M. (junio de 2009). *SciELO*. Obtenido de INGENIERÍA BIOMÉDICA. HISTORIA EN CONSTRUCCIÓN: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622009000100005

Concepto definición. (s.f.). Obtenido de Algoritmo: <https://conceptodefinicion.de/algoritmo/>

Concepto definición. (s.f.). Obtenido de Algoritmo: <https://conceptodefinicion.de/algoritmo/>

Cruz Roja Española. (s.f.). Obtenido de La donación de sangre:
<http://www.donarsangre.org/la-sangre/>

Diamed. (s.f.). Obtenido de Saxo ID Reader:
http://www.diamed.com/product_detail.aspx?id=635&navvis=

Díaz-Quijano, F. A., Villar-Centeno, L. A., & Martínez-Vega, R. A. (2011). Reducción de la hospitalización mediante un algoritmo de manejo del dengue en Colombia. *Revista de la Sociedad Boliviana de Pediatría*.

Dona Sangre. (s.f.). Obtenido de Bancos de Sangre donde se puede donar:
<https://www.donasangre.org/banco-donar.html>

Enciclopedia Económica. (s.f.). Obtenido de Variable estadística:
<https://enciclopediaeconomica.com/variable-estadistica/>

Estrada, G. (2016). La ingeniería biomédica en la gestión de equipo médico. *Revista de sanidad militar*.

FACHE, W. A. (2016). *Universidad de Chile*. Obtenido de IMPLEMENTACIÓN DE:
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/142546/Implementacion-de-software-para-la-deteccion-de-dano-renal-agudo-%28AKI%29.pdf?sequence=1>

GOLFFED, J. (2011). *Dona Sangre*. Obtenido de Microtécnica de Aglutinación en Gel:
http://donasangre.uy/wp-content/uploads/2014/07/Microtecnica_de_Aglutinacion_en_Gel.pdf

GOLFFED, J. (2011). *Dona Sangre*. Obtenido de Microtécnica de Aglutinación en Gel:
http://donasangre.uy/wp-content/uploads/2014/07/Microtecnica_de_Aglutinacion_en_Gel.pdf

GOLFFED, J. (julio de 2014). *Dona Sangre*. Obtenido de MICROTÉCNICA DE AGLUTINACIÓN EN GEL:
http://donasangre.uy/wp-content/uploads/2014/07/Microtecnica_de_Aglutinacion_en_Gel.pdf

Guía de recursos para procesos de adquisición. (2012). Suiza.

- Hustinx H, M. E. (2016). *International Society of Blood Transfusion: ISBT*. Obtenido de Comparison of sensitivity and specificity of the Bio-Rad ID Cards: https://www.posteressiononline.eu/173580348_eu/congresos/34isbt/aula/-P_349_34isbt.pdf
- Marketwired. (3 de agosto de 2015). *Yahoo! Finance*. Obtenido de Bio-Rad Introduces the IH-500, a Fully Automated Random Access System for Blood Typing and Screening: <https://finance.yahoo.com/news/bio-rad-introduces-ih-500-123000963.html>
- Martínez, T. G. (2008). *Procedimiento para evaluación y adquisición de tecnología médica*. México.
- Ministerio de Salud de Panamá. (s.f.). Obtenido de Programa Nacional de Sangre: <http://www.minsa.gob.pa/programa/programa-nacional-de-sangre>
- Molina, T. (2007). Ingeniería Clínica para no ingenieros: Adquisición de equipos médicos. *Ingeniería Biomédica*.
- Rivera, T. (2016). *Recomendaciones para la adquisición de equipo médico en el sistema nacional de salud*. México.
- RODRIGUEZ, A. (enero de 2018). *Ministerio de Salud de Panamá*. Obtenido de Listado de instalaciones de salud 2017: http://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/publicacion-general/listado_de_instalaciones_de_salud_ano_2017.pdf
- Ual Medical. (2017). Obtenido de Suite Edelpbyn: [http://www.ualmedical.com/pdf/Suite-eDelphyn\(2017\).pdf](http://www.ualmedical.com/pdf/Suite-eDelphyn(2017).pdf)

PERCEPCIÓN EN PANAMÁ SOBRE LA HABILIDAD DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA BIOMÉDICA PARA DIAGNOSTICAR PROBLEMAS ELECTRÓNICOS DURANTE SU PRÁCTICA PROFESIONAL

PERCEPTION IN PANAMA ON THE ABILITY OF BIOMEDICAL ENGINEERING STUDENTS TO DIAGNOSE ELECTRONIC PROBLEMS DURING THEIR PROFESSIONAL PRACTICE

AUTORES: ERNESTO IBARRA¹ & LUIS ESTRADA²

¹Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá. ²Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC), Barcelona, España.

Correos: ernestoibarra@ulatina.edu.pa, lestrada@ibecbarcelona.eu

Recibido: 15 de mayo de 2019

Aceptado: 23 de mayo de 2019

Resumen

PALABRAS CLAVE:

Educación en Ingeniería Biomédica, calidad educativa, percepción de los empleadores, práctica profesional.

Antes de diseñar estrategias andragógicas metacognitivas enfocadas a mejorar continuamente la formación del ingeniero biomédico en Panamá, primero debemos identificar las debilidades y necesidades para así poder justificar las acciones propuestas. Es por ello, que el presente estudio evalúa la percepción del sector biomédico acerca de la formación técnica del ingeniero biomédico en universidades panameñas, centrándonos específicamente en la habilidad de diagnosticar problemas electrónicos. Mediante una serie de encuestas de carácter exploratorio-descriptivo se evaluó la percepción de los supervisores de práctica profesional sobre la capacidad que tienen los estudiantes de ingeniería biomédica para

realizar un diagnóstico electrónico eficiente en equipos médicos. Dicho estudio constituye una herramienta importante para determinar la percepción que tienen los empleadores, tanto en el sector público como en el privado, acerca de las habilidades técnicas que poseen los estudiantes de ingeniería biomédica al momento de realizar su práctica profesional, enfocándose específicamente en la capacidad de los estudiantes de diagnosticar problemas electrónicos y como es percibida por el personal técnico que los supervisa. Como resultado de la investigación se muestran datos interesantes que señalan claras oportunidades de mejoras para elevar la calidad y competitividad en la formación de ingenieros biomédicos en Panamá. Uno de los resultados más relevantes, en la presente investigación, es que el 90% de los supervisores técnicos consideran que el diagnóstico electrónico eficiente es una

habilidad altamente deseable en la organización donde laboran. Finalmente, basados en las dificultades percibidas en los estudiantes de ingeniería biomédica para encarar problemas de tipo técnico, es necesario adoptar nuevos mecanismos que les permitan mejorar su formación y desarrollar sus competencias. Se propone el desarrollo de cursos de formación, así como la creación de una subespecialidad dentro de la carrera con un mayor énfasis en electrónica aplicada a la ingeniería biomédica.

Abstract

KEYWORDS:

Education in Biomedical Engineering, educational quality, perception of employers, professional training.

Before we start designing metacognitive andragogic strategies focused on continuously improve the biomedical engineer training in Panama, we must first identify the weaknesses and needs in order to justify the proposed actions. For this reason, the present study evaluates the perception of the biomedical sector about the biomedical engineers' technical training in Panamanian universities, focusing specifically on the students' ability to diagnose electronic problems. Through a series of exploratory-descriptive surveys, the perception of professional practice supervisors on the biomedical engineering students' ability to perform an efficient electronic diagnosis in medical equipment was evaluated. This study is an important tool to determine the perception that employers have, both in the public and private sectors, about the technical skills that

biomedical engineering students possess when carrying out their professional practice, focusing specifically on the students to diagnose electronic problems and how it is perceived by the technical staff who supervises them. As a result of the research, interesting data was collected that indicate clear opportunities for improvement to raise the quality and competitiveness in the training of biomedical engineers in Panama. One of the most relevant results in this research, is that 90% of technical supervisors consider that efficient electronic diagnosis is a highly desirable skill in the organization where they work. Finally, based on the perceived difficulties in biomedical engineer students to face technical problems, it is necessary to adopt new mechanisms that allow them to improve their training and develop their skills. The development of training courses is proposed, as well as the creation of a subspecialty within the career with a greater emphasis on electronics applied to biomedical engineering.



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

INTRODUCCIÓN

El éxito de todo profesional depende de su formación teórica y práctica para enfrentar los problemas reales de su entorno laboral. Enmarcándonos en el contexto de la tecnología sanitaria, esta es definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como “la aplicación de conocimientos teóricos y prácticos estructurados en forma de dispositivos médicos...” (OMS, 2007, p. 109). Es por ello que la OMS insta a sus estados miembros:

a que formulen, según proceda, estrategias y planes nacionales para la implementación de sistemas de evaluación, planificación, adquisición y gestión de las tecnologías sanitarias, en particular de los dispositivos médicos, en colaboración con personal dedicado a la evaluación de las tecnologías sanitarias y la ingeniería biomédica (OMS, 2007, p. 109).

La OMS ha reconocido la importancia de los dispositivos médicos para la atención en el campo de la salud y en la mejora de la calidad de vida de las personas y de la comunidad (OMS, 2012a). En este contexto, la ingeniería biomédica juega un papel crucial en el desarrollo y avance del uso de dispositivos médicos y servicios clínicos (OMS, 2017). Según la OMS, “Una posible vía de avance para los países en desarrollo sería la capacitación de ingenieros biomédicos en dichos países, el diseño de equipos médicos dirigidos a países en desarrollo y la fabricación de los equipos en esos países” (OMS, 2012, p. 62). Por otra parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) expresa que “Ante la complejidad de los desafíos mundiales, presentes y futuros, la educación superior tiene la responsabilidad social de hacer avanzar nuestra comprensión de problemas polifacéticos con dimensiones sociales, económicas, científicas y culturales, así como nuestra capacidad de hacerles frente” (UNESCO, 2009, p. 2).

Numerosos son los mecanismos para la preparación de estudiantes de ingeniería biomédica para la resolución de problemas del mundo real (laboratorios, simulación por computadora, pasantías, expositores invitados, investigación, entre otros) (Enderle, Ropella, Kelso, & Hallowell, 2002). El fracaso de incorporar tales experiencias del mundo real a lo largo del currículo crea frustración para el estudiante, particularmente para el estudiante de primer año o segundo año que carece de la experiencia para establecer una conexión entre la teoría y la práctica (Enderle et al., 2002). Este hecho se puso de manifiesto en un interesante estudio realizado en el 2002 por cuatro profesores de diferentes universidades de Estados Unidos de América (University of Connecticut, Marquette University, Northwestern University, y Ohio University), donde se imparte la carrera de ingeniería biomédica (Enderle et al., 2002).

En un documento sobre las competencias del ingeniero biomédico para el desarrollo de instrumental médico se señala que “La mayoría de los ingenieros en esta especialidad

necesitan una sólida formación en otra especialidad de la ingeniería, tales como la mecánica o ingeniería electrónica, además de la formación biomédica especializada” (Bribiescas Silva, Macías Martín, Lee Kim, Barojas Weber, & Ramírez Martínez, 2014, pp. 52-53). En ese mismo artículo también se advierte que:

El conocimiento como acumulación de saber no es significativo, su valor radica en el uso que se haga del mismo, por tanto, las escuelas deben, con esta perspectiva, replantear los programas educativos desde “el saber hacer” a partir del desarrollo de competencias y de su aplicación a situaciones de la vida real, (Bribiescas Silva et al., 2014, p. 53).

La formación de ingenieros biomédicos en Panamá inició en el año 1999 (Roberto & Ávalos, 2013). La primera universidad panameña en dictar la carrera en ingeniería biomédica fue la Unmarcoiversidad Latina de Panamá (ULATINA) en su Facultad de Ciencias Médicas y de la Salud. Posteriormente en el año 2004, se abre la carrera en la Universidad Especializada de Las Américas (UDELAS) en la Facultad de Salud y Rehabilitación Integral. Actualmente en Panamá sólo se ofrece la carrera en estas dos universidades, la ULATINA que es una universidad de capital privado y la UDELAS que es una universidad estatal.

En un estudio realizado en Panamá en el 2012 (Estrada & Ibarra, 2012), en el cual se encuestaron a ingenieros biomédicos graduados, tanto en la ULATINA como en la UDELAS, se determinaron tres áreas principales de trabajo de los ingenieros biomédicos en Panamá:

1. Instalaciones sanitarias (hospitales y clínicas, públicas y/o privadas), realizando diferentes tareas que incluyen: apoyo técnico, implementación y administración de la infraestructura tecnológica.
2. Empresas de distribución y proveedores de servicios especializados en equipos médicos, principalmente en el área comercial, consultoría, soporte técnico, administración y gestión de proyectos tecnológicos.
3. Entidades gubernamentales orientadas a la aprobación, regulación, registro y control de la tecnología aplicada al campo de la salud. (Caja de Seguro Social de Panamá (C.S.S.), y Ministerio de Salud de Panamá (MINSA)).

Entre los datos relevantes e interesantes del estudio (Estrada & Ibarra, 2012), se tiene que el 96% de los encuestados coinciden en que la situación actual de la ingeniería biomédica en Panamá se centra en las áreas de gestión, ventas y soporte técnico de equipos médicos. En general, la encuesta revela que la gran mayoría de los graduados de esta ingeniería se han insertado en el área de soporte técnico de productos biomédicos. Lo anterior no resulta extraño, puesto que un ingeniero biomédico está legalmente autorizado para ejercer labores técnicas que incluyen, según la Resolución No. 788, de 13 de agosto de 2008, de la

Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura (JTIA) de Panamá, *“Seleccionar, instalar y conservar los equipos y sistemas dedicados al servicio médico, así como el desarrollo y diseño de equipos biomédicos”* (JTIA, 2015, p. 1).

Otro resultado interesante que se presentó en la encuesta es que el 99.5% de los encuestados considera que un nivel de especialización (por ejemplo: posgrado, maestría, doctorado, etc.) es importante para su crecimiento profesional mientras que el 0.5% restante no sabía o no tenía opinión al respecto.

La formación de profesionales que puedan analizar, diagnosticar problemas, y brindar soluciones eficientes enfocadas en la realidad nacional es un propósito que debería ser común para todas las carreras universitarias, en miras de aumentar la competitividad de sus egresados. En esta misma línea citamos las palabras de Cristina Pita Yáñez, Vicerrectora de Estudiantes e Inserción Profesional de la Universidad de Salamanca (España), que nos expresa que:

El mercado laboral es cada vez más exigente en la evaluación de los candidatos que acceden a los procesos de selección de las empresas y es por ello por lo que nos preguntamos cuáles son las competencias que debe poseer un titulado universitario para encontrar y mantener un empleo. Los estudiantes y titulados que dispongan de estas competencias y sepan desarrollarlas adecuadamente verán incrementada su empleabilidad a lo largo de su vida profesional (Pita-Yáñez & Pizarro Lucas, 2013, párr. 1).

En este trabajo, mediante una serie de encuestas se evalúa la percepción del sector biomédico acerca de la formación técnica del ingeniero biomédico en universidades panameñas, centrándonos específicamente en la habilidad de diagnosticar problemas electrónicos.

Desarrollo

Formación en Ingeniería Biomédica

En un análisis crítico sobre la formación en ingeniería biomédica (Avendaño, 2013) se indica que uno de los principales problemas que se enfrenta es la articulación con el mundo profesional. Se expresa que *“La común y reiterada sobrecarga teórica y desvinculación con la profesión, constituyen una de las más desventajosas condiciones presentes en muchas universidades donde muchos profesores sólo tienen la competencia dada por su formación universitaria y carecen de la experiencia básica en la profesión...”* (Avendaño, 2013, pp. 378-379). De lo anterior, el autor pone de manifiesto que *“Esta deformación conocida como “endogamia” docente, produce conocimientos desvinculados de los requerimientos prioritarios del mundo hospitalario”* (Avendaño, 2013, p. 379).

A pesar de que el ingeniero biomédico tiene un campo de trabajo y de especialización muy vasto, es el área de soporte técnico de productos biomédicos la que más cantidad de plazas laborales ofrece y demanda en Panamá (Estrada & Ibarra, 2012). Dicha tendencia es una realidad que se debe afrontar para suplir de profesionales de la ingeniería biomédica,

competentes, capaces de cumplir con las necesidades y requerimientos presentes y futuros del país.

Marco Legal de la Ingeniería Biomédica en Panamá

La Ley 90 del 27 de diciembre de 2017, publicada en la Gaceta Oficial No. 28433-B del Gobierno de la República de Panamá, define un equipo biomédico como aquel:

Dispositivo médico operacional y funcional que reúne sistemas y subsistemas eléctricos, electrónicos, mecánicos, hidráulicos, híbridos, incluidos los programas informáticos que intervengan en su buen funcionamiento, destinado por el fabricante a ser usado en seres humanos con fines de prevención, diagnóstico, tratamiento o rehabilitación. No constituyen equipo biomédico aquellos dispositivos médicos implantados en el ser humano o aquellos destinados para un solo uso y a los cuales no se le realiza mantenimiento preventivo o correctivo, (Gobierno de la República de Panamá, 2017c, p. 16).

Mediante la Ley 64, del 3 de octubre de 2017, publicada en la Gaceta Oficial No. 8379-B del Gobierno de la República de Panamá, se reconoce la profesión de técnicos e ingenieros biomédicos y su ejercicio en el territorio nacional (Gobierno de la República de Panamá, 2017a). En el artículo 2 de dicha ley, se define al técnico e ingeniero biomédico como:

aquellos profesionales del sector salud y de la ingeniería, debidamente formado en universidades o entidades docentes formadoras de carreras técnicas, con conocimiento en la gestión de tecnología biomédica y capacitados para aplicar los conocimientos científicos, tecnológicos y métodos de la ingeniería en la tecnología biomédica, (Gobierno de la República de Panamá, 2017b, p. 7).

La JTIA, es la entidad de derecho público que regula el ejercicio de la ingeniería y la arquitectura en Panamá. Por medio de la resolución No. 788, se reglamentan las funciones de los ingenieros biomédicos dentro de la JTIA, con la finalidad de otorgarles certificados de idoneidad como una especialidad de la ingeniería. Dicha resolución fue incluida en la Gaceta Oficial del Gobierno de la República de Panamá No. 27847, del lunes 17 de agosto de 2015, haciéndola de estricto cumplimiento en el país (Gobierno de la República de Panamá, 2015).

Importancia de las habilidades técnicas en un Ingeniero Biomédico

En la resolución No. 788 de la JTIA, artículo No. 3, punto e, se indica que el ingeniero biomédico está habilitado para “dar mantenimiento preventivo, correctivo y supervisar la instalación de equipos médicos para prever situaciones de manera disciplinada y reducir las fallas en el campo de la atención médica” (JTIA, 2015, p. 1). De lo anteriormente expuesto queda de manifiesto que el ingeniero biomédico en Panamá debe estar formado, entre otros, para ser capaz de ejecutar un mantenimiento tanto preventivo (reducir la

probabilidad que una falla aparezca) y correctivo (reparación y restablecimiento de una función/actividad después de una falla), con el objetivo de mantener un equipo médico funcional. La necesidad de mantener el equipamiento médico en buenas condiciones ha llevado a desarrollar estrategias de mantenimiento predictivo, donde se fijan intervalos para los procedimientos de mantenimiento, de tal forma de que se reemplacen los componentes antes de que presenten un fallo (OMS, 2012b).

La relevancia e importancia del mantenimiento de equipos médicos ha crecido grandemente en los últimos tiempos, demostrando su eficacia en asegurar la disponibilidad de los equipos y garantizando, en gran medida, la continuidad de los diversos servicios relacionados a ellos. La OMS expresa que “Con el fin de que el equipo vuelva a estar en servicio en el menor tiempo posible, es necesario un procedimiento de resolución de problemas eficiente, en el que se verifique el desperfecto y se determine su origen” (OMS, 2012b, p. 37). En este mismo documento se advierte que:

la mayor parte del personal de mantenimiento debe tener conocimientos de electrónica y saber cómo funcionan los equipos de medición, poseer conocimientos de calibración electrónica y conocer los principios generales del funcionamiento de los equipos médicos para realizar eficazmente su trabajo, (OMS, 2012b, p. 22).

En un mantenimiento preventivo se sigue un procedimiento sistematizado preestablecido basado muchas veces en la experiencia y en las recomendaciones del fabricante del equipo médico. Por lo contrario, para ejecutar un mantenimiento correctivo se requiere poseer conocimiento especializado y una buena capacidad de análisis técnico para poder determinar la causa y extensión del daño. Entre mayor sea la complejidad del equipo biomédico, más complejo se vuelve el proceso de diagnosticar el daño. La identificación del problema obedece a un proceso mental de análisis lógicos, fundamentados principalmente en los conocimientos adquiridos con anterioridad (teóricos, prácticos, y/o basados en experiencias similares), que establecerá las acciones a seguir para descubrir o corroborar el origen del daño.

Método

La presente investigación es un estudio diagnóstico de las habilidades analíticas y técnicas de los estudiantes de ingeniería biomédica para diagnosticar fallas en equipos biomédicos electrónicos. Se aborda la capacidad para diagnosticar problemas electrónicos, puesto que, una definición incorrecta del problema puede ocasionar que el ingeniero pierda el tiempo y llegue a una solución inapropiada (Wright, 2002). Es por ello que, el planteamiento correcto de un problema es el paso más importante hacia su solución (Wright, 2002). Por lo tanto, un problema definido correctamente es un problema parcialmente resuelto.

En dicho contexto, el estudio presentado es de carácter exploratorio-descriptivo. Posee una parte exploratoria, puesto que pretende dar una visión general, tipo aproximativo, respecto

a la percepción de los posibles empleadores, público y privado, acerca de la habilidad para diagnosticar problemas electrónicos de los estudiantes de ingeniería biomédica, formados en universidades panameñas, durante su práctica profesional. Por otra parte, es descriptivo, puesto que busca medir y/o evaluar diferentes características relacionadas a la habilidad de diagnóstico electrónico de los ingenieros biomédicos en formación.

Las encuestas fueron aplicadas a cincuenta supervisores técnicos, quienes estuvieron a cargo de estudiantes practicantes de ingeniería biomédica pertenecientes a la UDELAS y la ULATINA. Las personas encuestadas forman parte de las siguientes instituciones públicas: C.S.S. (Dirección de Biomédica, y Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid), y MINSA (Departamento Nacional de Biomédica, Hospital del Niño Dr. José Renán Esquivel, Instituto Oncológico Nacional Dr. Juan Demóstenes Arosemena, y Hospital Santo Tomás), y de la empresa privada: (Delang Medical Systems, Biomedical Support & Systems, Inc., Electrónica Médica S.A., Promociones Médicas S.A., HOSPITALAR, Alpha Mediq S.A., y Casa del Médico). Este estudio de carácter exploratorio-descriptivo se evalúa la percepción del personal supervisor de los estudiantes de ingeniería biomédica sobre la capacidad que tienen de realizar un diagnóstico electrónico eficiente en equipos médicos.

Instrumento

La información utilizada en el presente trabajo se recolectó a través de una encuesta diseñada especialmente para abarcar de una forma sencilla, intuitiva y eficaz aspectos claves para nuestra investigación. Las personas encuestadas fueron técnicos e/o ingenieros que supervisan/supervisaron a estudiantes de ingeniería biomédica como parte de su formación universitaria. El personal encuestado pertenece a instituciones públicas o privadas receptoras de estudiantes de ingeniería biomédica durante su práctica profesional.

A todos los encuestados se les explicó verbalmente, y por escrito, las instrucciones del instrumento, enfatizándoles que los resultados de cada encuesta serían procesados y tabulados de manera confidencial.

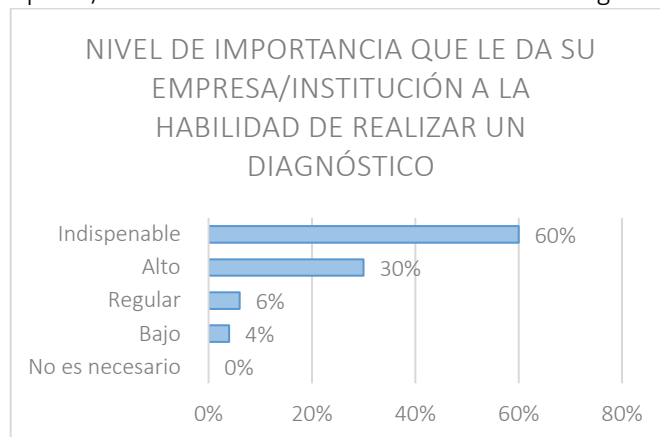
Las encuestas se les entregaron a los participantes sin restricción de tiempo y se les preguntó si tenían dudas sobre las preguntas formuladas. En relación a la recolección de datos, el mismo se realizó según la disponibilidad de los participantes, dándoles soporte y ayuda en caso de dudas/comentarios.

Resultados y discusión

Para crear un punto de partida, se les consultó a los supervisores técnicos sobre la importancia, que le da su empresa/institución, a la capacidad de realizar un diagnóstico electrónico eficiente (DEE). Entendiéndose como DEE un diagnóstico certero realizado dentro de un tiempo prudente, y cuyo resultado es la determinación de la causa del fallo en un equipo médico.

Como se puede apreciar en la Gráfica 1, el 60% de los encuestados señaló que poder realizar un diagnóstico electrónico es una competencia indispensable, mientras que el 30% indicó que tiene una importancia alta para su empresa/institución. Esto es muy relevante, puesto que claramente se observa que el 90% de los supervisores técnicos concuerdan que esta es una competencia deseable en el perfil de un ingeniero biomédico.

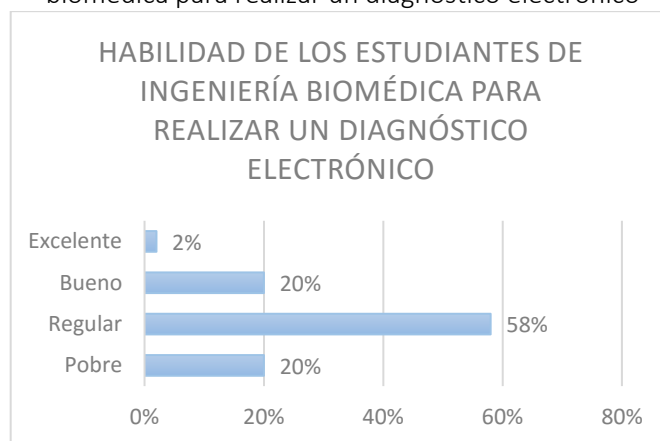
Gráfica 1
Opinión de los supervisores técnicos acerca del nivel de importancia que le da su empresa/institución a la habilidad de realizar un diagnóstico



Fuente: Ibarra & Estrada (2019)

Una vez definido el nivel de importancia que se les da al DEE, se les consultó a los supervisores técnicos cómo calificaría la capacidad, de los estudiantes practicantes, para diagnosticar problemas electrónicos reales. El 58% de los encuestados calificaron como regular la capacidad de los estudiantes de ingeniería biomédica para diagnosticar problemas electrónicos durante su práctica profesional (Ver Gráfica 2).

Gráfica 2
Calificación por los supervisores técnicos sobre la habilidad de los estudiantes de ingeniería biomédica para realizar un diagnóstico electrónico

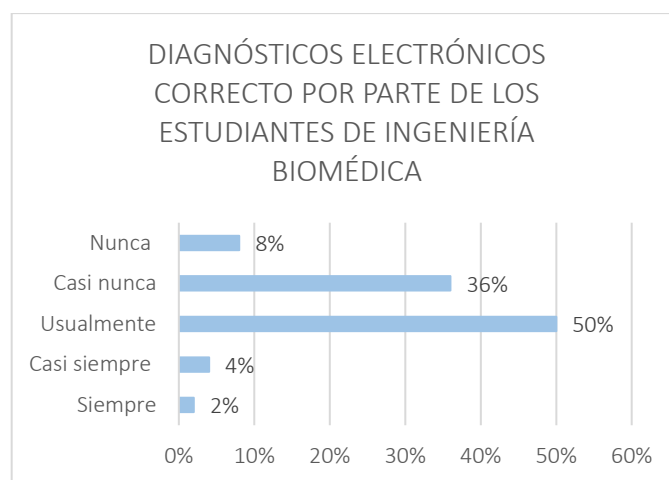


Fuente: Ibarra & Estrada (2019)

La práctica profesional es una experiencia de formación educativa y laboral en la cual se espera que los estudiantes puedan obtener la mayor cantidad de conocimientos de profesionales de la ingeniería biomédica, propiciando el desarrollo de sus habilidades para la resolución de problemas en el mundo real. Tomando en cuenta lo anterior, se les consultó a los supervisores técnicos si los estudiantes ejecutaron de manera efectiva un diagnóstico electrónico sin el apoyo de ellos, a lo que el 50% de los encuestados contestaron que usualmente lo hacían, mientras que el 36% indicó que casi nunca realizaban un diagnóstico correcto sin la asistencia del supervisor técnico (Ver Grafica 3).

Gráfica 3

Ejecución diagnósticos electrónicos correcto por parte de los estudiantes de ingeniería biomédica sin la asistencia de un supervisor técnico.

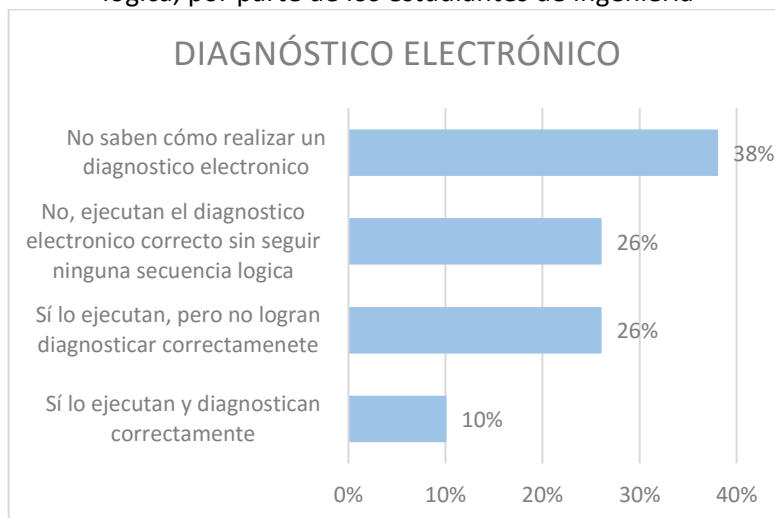


Fuente: Ibarra & Estrada (2019)

Para llevar a cabo un DEE se debe primero analizar la falla y estudiar las posibles causas que la pudieron originar. Es por ello por lo que, el proceso de encontrar la causa del problema se debe realizar de forma sistemática y organizada, siguiendo una secuencia lógica. Basándonos en lo anteriormente expuesto, se les consultó a los supervisores técnicos sobre si los estudiantes de ingeniería biomédica ejecutaban un proceso de diagnóstico electrónico de forma sistemática, siguiendo una secuencia lógica (Ver Grafica 4). El 38% de los supervisores técnicos opinó que los estudiantes de ingeniería biomédica desconocen cómo realizar un diagnóstico electrónico, requiriendo ayuda de los asesores técnicos para realizarlo.

Gráfica 4

Ejecución de un proceso sistemático de diagnóstico electrónico, siguiendo una secuencia lógica, por parte de los estudiantes de ingeniería

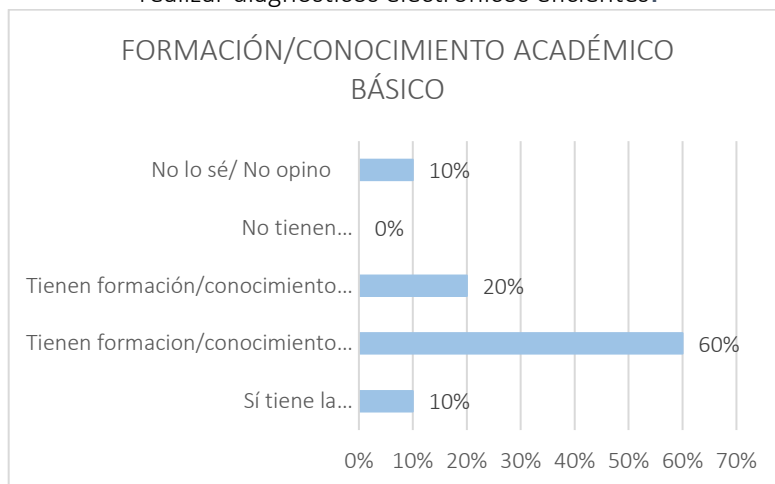


Fuente: Ibarra & Estrada (2019)

Al consultarle a los encuestados sobre si los estudiantes de ingeniería biomédica tenían la formación/conocimiento académico básico para realizar un DEE, un 64% de los supervisores técnicos opinó que tienen una formación/conocimiento académico regular (Gráfica 5).

Gráfica 5

Formación/Conocimiento académico básico de los estudiantes de ingeniería biomédica para realizar diagnósticos electrónicos eficientes.

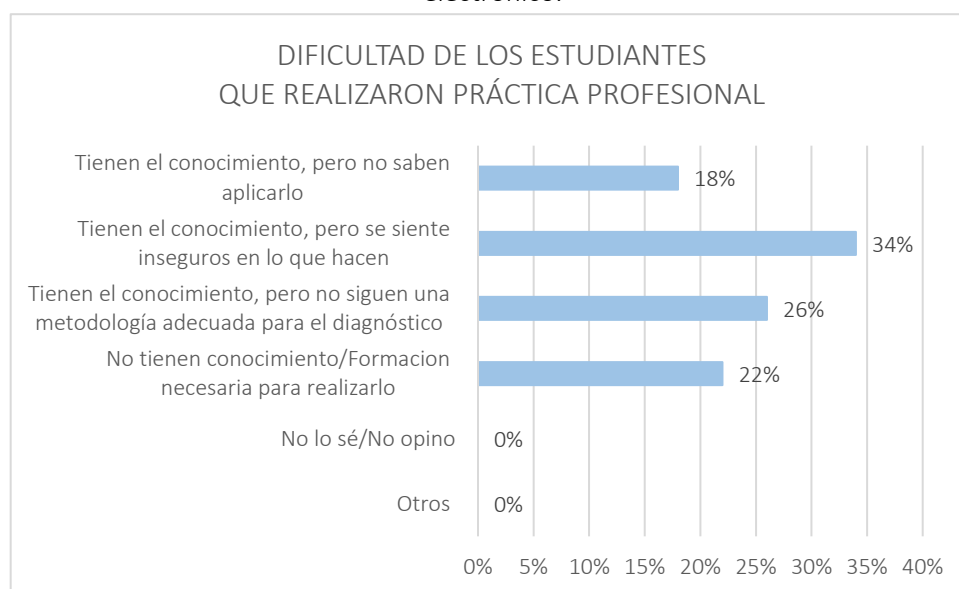


Fuente: Ibarra & Estrada (2019)

Como se observa en la Gráfica 6, al consultarle a los encuestados sobre cuál era la dificultad que ellos percibían en los estudiantes para realizar un DEE, un abrumador 78 % de los supervisores técnicos concluyó que, a pesar de que los estudiantes cuentan con el conocimiento para hacerlo, éstos afrontan dificultades para llevarlo a cabo de forma correcta. Esta encuesta reveló que el 34 % de los encuestados coinciden en que la dificultad que enfrentan los estudiantes es por su inseguridad al momento de ejecutar un diagnóstico electrónico, el 26 % consideró que es porque no poseen una metodología adecuada para hacerlo, el 22 % opinó que es por su falta de conocimiento técnico, y un 18 % indicó que es porque no saben cómo aplicar su conocimiento.

Gráfica 6

Dificultad de los estudiantes que realizaron práctica profesional para llevar a cabo un diagnóstico electrónico.



Fuente: Ibarra & Estrada (2019)

CONCLUSIONES

Hoy en día, ante la creciente demanda de profesionales cada vez más capacitados, éstos deben mantenerse actualizados de manera constante en su área del conocimiento. El perfil del ingeniero biomédico lo habilita para enfrentarse a problemas con un alto grado de complejidad en el campo de las ciencias de la salud, proporcionándoles las herramientas necesarias para encontrar soluciones prácticas e innovadoras. A pesar del alto grado de conocimiento con el que los ingenieros biomédicos son educados, en muchas ocasiones analizar y poner en práctica la información adquirida en el aula de clase llega a ser todo un reto. En este estudio hemos podido conocer algunas de las deficiencias que presentan los estudiantes de ingeniería biomédica para el diagnóstico de problemas electrónicos durante su práctica profesional.

Como se ha mencionado en el presente trabajo, el diagnóstico es la primera y más

importante etapa en la solución de un problema. La mayor parte de los dispositivos y aparatos biomédicos son desarrollados a partir de tecnología electrónica. Es por ello por lo que es de suma importancia diagnosticar una falla de manera correcta, puesto que no solamente ahorra recursos (por ejemplo: tiempo y dinero) sino porque también permite restablecer la funcionalidad del equipo y con ello aportar beneficios a los pacientes. Finalmente, los principales aportes de esta investigación que claramente identifican oportunidades de mejora son:

- Identificación de la habilidad de diagnosticar problemas electrónicos como una competencia altamente deseable por el mercado actual de ingeniería biomédica en Panamá, tanto para el sector público como privado.
- Necesidad de reforzar las habilidades técnicas de los estudiantes de ingeniería biomédica para poder realizar de forma correcta y eficiente los mantenimientos de equipos médicos, especialmente los de tipo correctivo que demandan una capacidad de análisis y destrezas técnicas mayores, en comparación a los mantenimientos preventivos, acorde con la reglamentación de esta profesión en Panamá estipulada en la Resolución No. 788 de la JTIA de la SPIA.
- Basados en los resultados obtenidos, se desprende que los estudiantes que posean la habilidad para poder realizar un DEE tendrían una mayor probabilidad, que los que no la tengan, de obtener una plaza de trabajo en el sector biomédico panameño, especialmente en el área de soporte técnico. Cabe resaltar, que los estudiantes y egresados de la carrera de ingeniería biomédica pueden alcanzar un buen nivel técnico mediante la experiencia laboral, entrenamientos, capacitaciones, jornadas de actualización basadas en conferencias/congresos, cursos de especialidad, entre otros.

RECOMENDACIONES

La inexperiencia en resolver problemas reales puede deberse a una carencia de contenido técnico-práctico en la malla curricular del grado de ingeniería biomédica. Es por ello que, para superar los obstáculos que presentan los estudiantes de ingeniería biomédica y mejorar su experiencia durante su práctica profesional, se recomienda evaluar la inclusión de una subespecialidad dentro la carrera. En dicha subespecialidad se reforzaría el contenido curricular para fomentar el desarrollo de las capacidades analíticas y técnicas, a través de la inclusión de cursos optativos propios de la ingeniería electrónica, en miras de mejorar las competencias que exige el mercado laboral.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a los revisores por sus recomendaciones, así como a los supervisores de práctica profesional de las diferentes instituciones de salud, públicas y privadas, por su participación y colaboración en la ejecución del presente estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en relación al presente artículo.

Financiación

Los autores declaran la no existencia de fuentes de financiación externas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avendaño, G. E. (2013). Análisis crítico sobre la formación en ingeniería biomédica. En J. Folgueras Méndez, T. Y. Aznielle Rodríguez, C. F. Calderón Marín, S. B. Llanusa Ruiz, J. Castro Medina, H. Vega Vázquez, ... R. Rodríguez Rojas (Eds.), *V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011* (Vol. 33). https://doi.org/10.1007/978-3-642-21198-0_97
- Briebescas Silva, F. A., Macías Martín, L. E., Lee Kim, H. S., Barojas Weber, J., & Ramírez Martínez, R. (2014). Las competencias del ingeniero biomédico para el desarrollo de instrumental médico. *Culcyt*, 52(Especial No 1), 52-61.
- Enderle, J. D., Ropella, K. M., Kelso, D. M., & Hallowell, B. (2002). Ensuring that biomedical engineers are ready for the real world. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 21(2), 59-66. <https://doi.org/10.1109/MEMB.2002.1000187>
- Estrada, L., & Ibarra, E. (2012). Biomedical Engineering, Support Model between Medicine and Technology in Panama. *Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference*, 1-9. Recuperado de <http://laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP263.pdf> <http://www.laccei.org/index.php/publications/laccei-proceedings>
- Gobierno de la República de Panamá. (2015). Ministerio De Obras Publicas/Junta Técnica De Ingeniería Y Arquitectura. Recuperado 25 de junio de 2019, de Gaceta Oficial Digital website: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/27847/GacetaNo_27847_20150817.pdf
- Gobierno de la República de Panamá. (2017a). Ley 64 “Que Reconoce la Profesión de Biomédica”. Recuperado 25 de junio de 2019, de Gaceta Oficial Digital website: http://gacetas.procuraduria-admon.gob.pa/28379-B_2017.pdf
- Gobierno de la República de Panamá. (2017b). Ley 64 “Que Reconoce la Profesión de Biomédica”.
- Gobierno de la República de Panamá. (2017c). Ley 90 “Sobre Dispositivos Médicos y Productos Afines”. Recuperado 26 de junio de 2019, de Gaceta Oficial Digital website: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28433_B/GacetaNo_28433b_20171227.pdf

- JTIA. (2015). Ingeniería Biomédica. Resolución No. 788, de 13 de agosto de 2008, JTIA-SPIA. Recuperado 24 de junio de 2019, de Reglamentación de Carreras website: https://www.jtiapanama.org.pa/archivos/leyes_decretos/archivo_06012016_080503.pdf
- OMS. (2007). Tecnologías Sanitarias. Recuperado 24 de junio de 2019, de 60ª Asamblea Mundial de la Salud website: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHASSA_WHA60-Rec1/S/WHASS1_WHA60REC1-sp.pdf
- OMS. (2012a). *Dispositivos médicos: la gestión de la discordancia*. Recuperado de http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789243564043_spa.pdf
- OMS. (2012b). Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos. En Organización Mundial de la Salud (Ed.), *Serie de documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos*. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44830/1/9789243501536_spa.pdf
- OMS. (2017). *Human Resources for Medical Devices The role of biomedical engineers* (W. D. P. Services, Ed.). Recuperado de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255261/9789241565479-eng.pdf>
- Roberto, L., & Ávalos, B. (2013). *Estado de la técnica y prospectiva de la Biomédica en El Salvador y la región centroamericana*. (5), 37-48.
- UNESCO. (2009). La nueva dinámica de la educación superior y la investigación para el cambio social y el desarrollo. *Conferencia Mundial sobre la Educación Superior*. Recuperado de http://www.unesco.org/education/WCHE2009/comunicado_es.pdf
- Wright, P. H. (2002). *Introduction to Engineering Library* (Tercera). John Wiley & Sons, Inc.

SISTEMAS DE DISPENSACIÓN DE MEDICAMENTOS POR UNIDOSIS EN FARMACIAS HOSPITALARIAS DEL ÁREA METROPOLITANA DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ: TRANSICIÓN A SISTEMAS AUTOMATIZADOS

UNIT-DOSE DRUGS DISPENSING SYSTEMS IN HOSPITAL PHARMACIES IN THE REPUBLIC OF PANAMA, METROPOLITAN AREA: TRANSITION TO AUTOMATED SYSTEMS

AUTORES: NICOLE TOMLINSON¹ & ERNESTO IBARRA²

¹Estudiante de la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá. ²Docente de la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá.

Correos: nicolemtomlinsona@gmail.com; ernestoibarra@ulatina.edu.pa

Recibido: 15 de mayo de 2019

Aceptado: 23 de mayo de 2019

Resumen

PALABRAS CLAVE:

Dispensación de medicamentos, sistema automatizado, unidosis, multidosis, empaque y reempaque de medicamentos.

El sistema de dispensación de medicamentos por dosis unitarias (SDMDU) es un método de dispensación de fármacos que aumenta la eficiencia de la gestión y logística de los medicamentos. Los sistemas automatizados que se han introducido en la actividad farmacéutica son sistemas avanzados destinados a la distribución, dispensación, almacenamiento, administración y control de medicamentos, con ellos, se aceleran los procesos que generalmente se llevaban a cabo de manera manual, se minimizan los errores y se aumenta la seguridad del paciente. En este contexto, la presente investigación tiene el objetivo de analizar la situación actual de los sistemas de dispensación de medicamentos por unidosis en farmacias hospitalarias, tanto públicas como privadas, del área metropolitana de la República de Panamá. Adicionalmente, se analizará el impacto en la productividad de una farmacia hospitalaria en particular, al pasar de un sistema tradicional a un sistema automatizado de dispensación de medicamentos de unidosis.



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

KEYWORDS:

Drug dispensing, automated system, unit-dose, multi-dose, packaging and repackaging of medications.

Abstract

The Unit Dose Dispensing (UDD) is a method of drug dispensing that increases the efficiency of drug management and logistics. The automated systems that have been introduced in the pharmaceutical activity are advanced systems intended for the distribution, dispensing, storage, administration and control of medicines. With them, the processes that were generally carried out manually are accelerated, the errors are minimized and the patient's safety is increased. In this context, the present research has the objective of analyzing the current situation of drug dispensing systems by single-dose in hospital pharmacies, both public and private, in the metropolitan area of the Republic of Panama. In addition, the impact on productivity of moving from a traditional system to an automated system for the dispensing of single-dose medications will be analyzed.

INTRODUCCIÓN

Para la segunda mitad del siglo XX lo más sobresaliente ha sido el avance tecnológico, el cual va exponencialmente en aumento. Esto a su vez, exige un cambio de mentalización y reorganización en los protocolos de trabajo (La automatización de procesos, s. f.). La revolución tecnológica actual, crea máquinas o dispositivos programados para la dirección o gestión de los procesos, a ello se le denomina automatización de procesos. La automatización de procesos cada vez es más común en diferentes áreas de producción debido a su contribución en cuanto a la resolución de los gastos de producción y la eficiencia. En los sistemas automatizados, se transfieren ciertas tareas que generalmente son realizadas por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos que resultan más eficientes y de cierta manera reducen errores (Sistemas automatizados, s. f.).

Cada año se invierte millones de dólares en tecnologías aplicadas a la salud debido a que estas han creado un impacto positivo no solo en la rapidez de los procesos, sino también en el bienestar del ser humano. Hoy en día, la tecnología en el área de la medicina es aplicada para el diagnóstico, tratamiento, registros médicos y hasta para la dispensación y empaque de medicamentos (Tecnología al Servicio de la Salud, 2016).

Statista, un portal español en línea de estadísticas que permite acceso inmediato a cifras y datos de interés social, revela que en el 2013 se invirtieron unos 366 mil millones de dólares en tecnologías aplicadas a la salud en todo el mundo y se estima que la inversión para el 2020 superará los 29 mil millones de dólares (Portafolio Innovation, 2016). Igualmente, en el año 2016 empresas en Estados Unidos y Europa dedicadas a las tecnologías médicas superaron los 100 mil millones de dólares en ingresos anual (Clinic-Cloud, 2017).

La tecnología de los sistemas de dispensación de medicamentos por unidosis (SDMDU), surgieron en la década de los sesenta como método para aumentar la eficiencia de la gestión y logística de medicamentos, que incluye la prescripción, recepción, almacenamiento y distribución, para así disminuir los errores de medicación (Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria, págs. 1-2).

Existían tres criterios principales a los que estaban sujetos los sistemas de distribución de medicamentos antiguos:

- Continuidad en la prestación farmacéutica, de manera que solo una parte de la terapia medicamentosa del paciente se encuentre disponible en el área de hospitalización, por lo que se permiten cambios en la prescripción o localización del paciente y estos podrían ser reflejados en la historia farmacoterapéutica del paciente.
- Globalidad al integrar toda la terapia necesaria para el paciente, la cual consiste en tener a disposición todos los medicamentos en las formas farmacéuticas correspondientes para cada paciente.
- Centralización de los procesos en los servicios de farmacia, en donde la interpretación de las órdenes médicas, la preparación de las dosis y la elaboración de los perfiles de los pacientes se elaboran en la farmacia central la institución, lo cual permite un mejor control y supervisión de procesos farmacéuticos.

Estos tres criterios, constituyen las bases para el desarrollo de un sistema automatizado eficiente con resultados óptimos el que permite intervenir en la terapia medicamentosa para llevar a cabo un seguimiento adecuado de la misma (Aguilar, 1997, pág. 5).

En la última década, se observa a la tecnología como un de factor indispensable para la producción de servicios, y estas han evolucionado en su disponibilidad, facilidad de uso, costo y potencial (Escuela Andaluza de Salud Pública S.A., 2012, pág. 11). Debido a ello, en la actualidad contamos con sistemas menos exigentes y que requieren de menos recursos humanos directo.

Según estudios realizados en 1994 a directores de la Unidad de Farmacia en hospitales situados en Estados Unidos (EE.UU.), el 92% de ellos reportaron utilizar SDMDU. Trascurridos alrededor de 58 años desde la implantación de SDMDU estos son una práctica común en muchos hospitales en EE.UU. en salas de medicina general y de cirugía generales. Estos sistemas no son comúnmente encontrados en salas de cuidados intensivos, en salones de operaciones y en el departamento de emergencia (Murray & Shojania, s.f.).

Muchos estudios publicados a lo largo de la década pasada revelan que el sistema de dispensación por unidosis, comparado con otros sistemas, es el más seguro, más eficiente y el más económicamente accesible (Thompson y Scheckelhoff, 2002). Al pasar los años, el “término unidosis” o “dosis unitarias” es utilizado para describir un método de empaqueo de medicamentos, que consiste en envolver un medicamento de manera temporal para agruparlos en unidades que corresponden a la dosis para cada paciente (Goldberg, 2010). Este tipo de sistemas aceleran en gran medida cualquier proceso que normalmente se lleve a cabo de manera manual, minimizando así errores y resguardando la seguridad del paciente.

En Panamá, uno de los principales problemas en el sector salud es el déficit de personal farmacéutico que data desde el año 2008, lo que ha ocasionado para el país incumplir con las recomendaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la cual estipula que por cada 2 mil habitantes es necesario contar con por lo menos un farmaceuta. Este déficit de personal no solo se observa en el sector público, sino también en el sector privado que sufre igualmente la escasez de mano de obra calificada. Debido al déficit de personal, y a la gran demanda de servicios farmacéuticos, el sistema de utilización de los medicamentos se debe realizar lo más rápido posible lo que lo convierte en un proceso complejo y tedioso, lo que trae como consecuencia el aumento de la probabilidad de cometer errores (Déficit de farmacéuticos, 2012).

El empaqueo de medicamentos es uno de los procedimientos que requiere de mayor concentración y verificación en cada una de las actividades a desarrollar. Para lograr con éxito dicha labor se requiere un entorno organizado y comunicación entre los participantes. El sistema de utilización de los medicamentos involucra procedimientos desde la selección de los medicamentos hasta la dispensación de estos. La complejidad de este proceso incluye procesos de selección, prescripción, validación y dispensación (Panamá, 2014). Durante la elaboración de cada uno de estos procesos, aumenta el riesgo de que se produzcan errores que podrían causar efectos adversos a los pacientes por el uso incorrecto de los medicamentos o por la prescripción incorrecta de los mismos (Errores de administración de medicamentos, 2014).

En nuestro país, las presentaciones comerciales de la mayoría de los medicamentos se presentan en cajas que contienen alrededor de 500 tabletas y se encuentran en su empaque original de fábrica, por lo que no se adecuan a las prescripciones para cada paciente y por esa razón, en muchos países se han implementado procesos automatizados para el empaque de unidosis y multidosis que preparan los medicamentos para su mejor dosificación.

Actualmente en Panamá, el proceso de dispensación de medicamentos se lleva a cabo de la manera tradicional (manual), en donde se separan las tabletas y se empaquen según la

prescripción para cada paciente y luego se distribuyen a cada sala de hospitalización. Durante este proceso, es posible la contaminación de los medicamentos por parte del personal que los manipula y además se puede comprometer su composición y estabilidad. Existe una preocupación por los efectos de las partículas liberadas por los medicamentos que quedan en el ambiente, puesto que pueden afectar de manera negativa al personal que los manipulan. En este contexto, un sistema automatizado para la dispensación de medicamentos podría solventar los peligros de los sistemas manuales tradicionales, minimizando en gran medida los problemas relacionados con la dispensación y empaque de medicamentos en hospitales de gran demanda de servicios de farmacia en Panamá.

Desarrollo

Sistemas de dispensación de medicamentos

Los procesos de dispensación, distribución y almacenamiento de medicamentos deben llevarse a cabo por personal capacitado y con la debida responsabilidad. Estos pueden realizarse de manera tradicional (manual) o mediante la aplicación de sistemas automatizados de dispensación (SAD).

La dispensación de medicamentos pueden encontrarse de dos formas (Ramírez, 2013):

- Dispensación por stock (reposición de botiquines): Consiste en la entrega global de los medicamentos a un servicio médico, en donde se encuentran los medicamentos para los pacientes y estos son controlados por el personal de enfermería.
- Dispensación por dosis unitaria (unidosis): Consiste en la dispensación de los medicamentos en forma individualizada para cada paciente, estas se empaquetan y se les coloca a cada empaque una etiqueta que contiene información del medicamento y del paciente.

De igual manera, encontramos una forma diferente de dispensación por dosis unitaria, en donde dos o más dosis se encuentran contenidas en un solo empaque para cada paciente, a este le denominamos multidosis (Goldberg, 2010, pág. 1).

Sistema tradicional de dispensación de medicamentos

El sistema tradicional es el más antiguo y obsoleto de los sistemas de dispensación de medicamentos. Es considerado el sistema menos costoso según la inversión inicial, no obstante, es un método que conlleva al aumento potencial de errores en la medicación y en la preparación de la dosis (Azevedo Anacleto, Borges Rosa, Cibele Comini y Perini, 2005, pág. 5).

El sistema tradicional de dispensación y empaque de medicamentos tiene serios inconvenientes dentro de los que se destacan (Azevedo Anacleto, Borges Rosa, Cibeles Comini y Perini, 2005, pág. 2):

- El tiempo en que el personal de enfermería debe manipular los medicamentos es extenso. Un estudio realizado en el 2005, estima que las enfermeras utilizan alrededor del 25% de su tiempo en transcribir prescripciones, verificar el inventario, completar solicitudes, transportar y separar medicamentos a otras unidades.
- Preparar la medicación para cada paciente puede llevar consigo errores en la dosificación. Como por ejemplo, las dosis de los medicamentos están expresadas en números, unidades o subunidades de masa o volumen. Un punto decimal puede transformar una dosis de 0.5 mg a 50 mg, lo cual es potencialmente nocivo para el paciente.
- Guardar los sobrantes, lo que implica el riesgo de deterioro y pérdida del medicamento. Como por ejemplo, los medicamentos deben ser almacenados de manera que se asegure la efectividad del mismo. Si un medicamento se encuentra en condiciones de almacenamiento inadecuado corre el riesgo de deterioro o contaminación y estos pueden comprometer la vida del paciente.

Error de Medicación

Cuando el proceso de dispensación de medicamentos involucra una serie de errores es posible ocasionarle daños al paciente debido a la utilización inadecuada de un medicamento, a esto se le conoce como error de medicación (EM).

Un EM es cualquier evento prevenible que pueda o no causarle daños al paciente cuando utiliza de manera inadecuada un medicamento. El Consejo Nacional de Coordinación de Informes y Prevención de Errores de Medicamentos (NCC-MERP) es un organismo independiente que tiene como objetivo maximizar el uso seguro de medicamentos y aumentar el conocimiento de errores de medicación a través de la comunicación abierta. Según la NCC-MERP los EM pueden clasificarse de la siguiente manera (Smith, 2014 pág. 2):

- EM por cualquier diferencia entre lo prescrito por el médico y lo registrado en enfermería (error de transcripción)
- EM por diferencias entre lo solicitado en la receta y lo dispensado por la farmacia (error de dispensación)
- EM por diferencias entre lo indicado en la literatura y lo realizado por el personal de medicina de adultos (error de preparación)
- EM por diferencias entre la indicación médica y lo administrado (error de administración)

Cuadro 1
Clasificación de los tipos de errores de medicación.

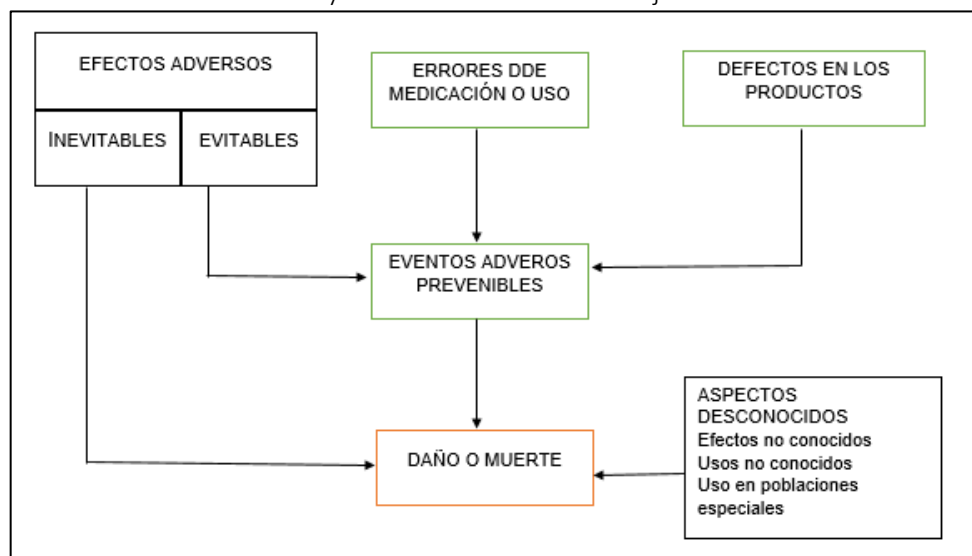
Prescripción	Dispensación	Trascripción	Preparación	Administración
-Dosis incorrecta	-Medicamento deteriorado (mal conservado, mal rotulado)	-Omisión	-Preparación defectuosa (dilución, diluyente o fraccionamiento incorrecto)	-Horario incorrecto
-Frecuencia de administración incorrecta	-Medicamento diferente al prescrito	-Trascripción diferente a la prescrita	-Manipulación incorrecta (contaminación)	-Omisión
-Vía de administración incorrecta	-Omisión			-Dosis incorrecta
-Omisión (receta incompleta)	-Forma farmacéutica incorrecta			-Vía de administración incorrecta
	Dosis incorrecta			-Medicamento diferente al prescrito
				-Paciente diferente
				-Velocidad de administración incorrecta

Fuente: Basado cuadro obtenido en Smith A. (2014). *Errores de la medicación*

Se estima que en instituciones médicas de Estados Unidos, alrededor del 12.2% de todos los pacientes hospitalizados son víctimas de errores de medicación y estas se dan por el manejo incorrecto de los medicamentos o error en la prescripción de los medicamentos (Caban, 2012).

Cuando se utiliza el término EM, podemos decir que este tipo de situaciones pueden ocasionarle efectos adversos conocidos que pueden ser inevitables o evitables. Dentro de los inevitables se encuentra el daño permanente o la muerte del paciente por efectos y usos no conocidos. Los efectos evitables se dan por efectos adversos prevenibles, como los son el mal manejo de los medicamentos, errores en la preparación de la dosis e incluso por defectos en los medicamentos como se muestra en la Figura 1.

Figura 1
Errores inevitables y evitables durante el manejo de medicamentos.



Fuente: Adaptado de Smith A. (2014). *Errores de la medicación*.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de la mitad de los medicamentos que se prescriben, dispensan o se venden, se manejan de forma inapropiada. Esto incluye, medicamentos utilizados de forma excesiva o indebida abusando de las dosis. De igual forma, afirma que: "...por el uso racional de los medicamentos se entiende su uso correcto y apropiado" y que para ello, "...el paciente tiene que recibir los medicamentos adecuados en la dosis debida, durante un periodo de tiempo suficiente, al menor costo para él y para la comunidad..." (La Prensa Argentina, 2014).

Sistemas automatizados de dispensación

A nivel mundial, se han establecido SAD que han demostrado ser métodos eficientes y seguros que le permiten al personal de farmacia realizar el seguimiento de la terapia medicamentosa y que garantiza así, la utilización de la dosis y vías de administración adecuadas. De igual modo, con este sistema, es posible prevenir reacciones adversas a los pacientes provocadas por la mala manipulación de medicamentos (Pérez, 2014).

El sistema de dispensación de medicamentos por dosis unitaria (SDMDU) permite el almacenamiento de los medicamentos en los servicios de hospitalización y disminuye así el deterioro, desperdicio y vencimiento de los fármacos, y por lo tanto, la disminución de las pérdidas económicas (Vanegas, 2017). Los SDMDU buscan mantener la seguridad de los pacientes, disminuyendo el porcentaje de error que se producen en la dispensación de medicamentos.

Al transcurrir los años se han elaborado trabajos que buscan la implementación de sistemas automatizados para la dispensación, empackado y reempackado de medicamentos con el fin de agilizar estos procesos.

Las autoras De'Alessio, R. y Girón, N. en su trabajo "Sistema de distribución de medicamentos por dosis unitarias", Honduras (1997), desarrollan un protocolo para la instalación de sistemas automatizados para la dispensación de unidades en donde muestran los aspectos que se deben tomar en cuenta para la instalación de dichos sistemas. Estos aspectos son la ubicación del equipo, el tipo de sistema, la cantidad de medicamentos a dispensar, el área para empackar-reempackar las dosis y las características que deben tener las etiquetas impresas. Como conclusión, las autoras consideran que para la instalación del sistema es necesario realizar un estudio previo de costos y se debe elaborar a partir de un programa piloto en donde se determinen cada una de las características ya mencionadas, incluyendo la definición de los elementos y la elaboración de normas y procedimientos.

De igual modo, podemos mencionar la investigación elaborada por la autora Barrientos, M. "Determinación del sistema de distribución de medicamentos por dosis unitaria en los servicios del Hospital Rural Integrado de Fray Bartolomé de las Casas", Universidad de San Carlos de Guatemala (2003). La autora llevó a cabo esta investigación para la determinación del SDMDU en los servicios del Hospital Rural Integrado de Fray Bartolomé de las Casas en Guatemala (HRIFBC), para corregir variaciones que puedan afectar el sistema de distribución. Para el estudio, obtiene la muestra por medio de encuestas dedicadas a los pacientes, al personal médico y al personal de enfermería. Según la autora, tomando en cuenta los resultados de la investigación, en su momento el SDMDU del HRIFBC era un sistema eficiente que tiene beneficios no solo para los pacientes sino también para el personal de enfermería en el control óptimo de los medicamentos, en la atención y en el seguimiento de la terapia.

En previas investigaciones elaboradas por Vanegas, L. en "Implementación de sistema de unidades y evaluación del impacto económico en la Asociación Hospicio de San José", Guatemala (2007), en donde llevó a cabo una comparación entre los sistemas tradicionales de dispensación de medicamentos versus el SDMDU. Para la autora al analizar los beneficios de distribución de medicamentos por dosis unitaria, el costo no sufrió ningún impacto como había planteado, sin embargo, se pudieron observar beneficios en el ahorro del tiempo de dispensación y se minimizaron los errores de medicación.

En la investigación realizada por De la Peña, M. et al "Optimización de la calidad del proceso de dispensación de medicamentos en dosis unitaria mediante la implementación del sistema semiautomático Kardex Hospital Universitari de Bellvitge", Barcelona (2007), tenían como objetivo evaluar el impacto de la incorporación de un sistema semiautomático de dispensación de medicamentos y almacenaje llamado Kardex, sobre la calidad del

proceso de llenado de carros de medicamentos en unidosis. Como método analizan retrospectivamente la velocidad de llenado de carros de medicamentos en dosis unitaria de forma tradicional comparándola con el llenado de medicamentos en dosis unitarias, utilizando el sistema semiautomático Kardex en un hospital de tercer nivel que dispone de 550 camas. Los resultados revelaron que la velocidad del proceso de llenado, expresada en número de dispensaciones por hora, pasa de 394 dispensaciones (con el sistema tradicional) a 417, 540 y 592 dispensaciones por hora utilizando el sistema Kardex. Como conclusión, el sistema semiautomatizado Kardex permitió optimizar la velocidad de llenado de carros respecto al sistema tradicional.

Por otra parte los autores Del Prado Llergo, J., Isla Tejera B. y Safrá Fernández, J., en su trabajo “Efectos de un sistema automático de dispensación de medicamentos sobre el gasto farmacéutico y el grado de satisfacción del usuario”, año 2012, evalúan en términos económicos el efecto del cambio del método tradicional por el sistemas automatizados de dispensación de medicamentos en la unidad de cuidados intensivos (UCI). De igual forma, busca analizar el grado de aceptación al cambio por parte de los usuarios. Según los autores en el método para el análisis económico se consideran los costes directos e indirectos tangibles derivados de la implantación, como lo son: la inversión inicial, el coste del personal implicado, y el coste en política de consumo de medicamentos. Cada uno de estos aspectos se evalúan antes y después de la implantación del sistema. Para los autores, los sistemas automatizados para la dispensación de medicamentos constituyen una nueva herramienta tecnológica para el control del gasto farmacéutico con buena aceptación por parte de los usuarios.

Por otra parte el autor Blanco, O. en su artículo “Implementación de un sistema de distribución de medicamentos por dosis unitaria para el servicio médico de nefrología del Hospital de Niños Dr. José Manuel de los Ríos”, año 2015, muestra un estudio de implementación de un SDMDU para el servicio médico de nefrología de dicha institución hospitalaria. Esta investigación está basada en el análisis sistemático del problema de errores de medicación, estudiándose el sistema actual con el fin de optimizar sus resultados. Dicho autor concluye, que la implementación de SDMDU era viable debido a que disminuye los errores relacionados con la medicación, racionaliza las cargas de trabajo, optimiza el uso recursos económicos, y aumenta la calidad de los servicios.

Recientemente los autores Cruz, M., García, M., Mejía, A. y Pérez, M. en el artículo “Integración de un prototipo semiautomático para el etiquetado de frascos de medicamentos”, año 2016, proponen la implementación de un sistema de etiquetado de frascos de medicamentos para una empresa que se desarrolla en la industria farmacéutica mexicana. En su momento, el proceso para el etiquetado de los frascos de medicamento se llevaba a cabo de forma tradicional y los autores sugirieron un prototipo semi-automático para acelerar la línea de producción y minimizar las fallas en la colocación de

las etiquetas, estas fallas pueden ser: el desnivel de las etiquetas, la existencia de burbujas de aire entre la etiqueta, y etiquetas con ambas fallas. De igual modo, los autores buscaban evaluar la funcionalidad y operación para determinar la factibilidad del proyecto. Como resultado se obtuvo que en cinco lotes con cien muestras cada uno, el 90% del etiquetado de frascos fue satisfactorios, de igual manera, se obtuvo una disminución del tiempo de etiquetado de frascos comparado con el sistema manual. Con el sistema manual se realizaba 400 piezas por hora, mientras que con el sistema propuesto fue de 900 piezas por hora.

Para que la atención farmacoterapéutica sea eficaz y eficiente, debe contar con un componente de calidad de los servicios de atención al paciente. Para ello, los integrantes de salud deben participar en forma responsable con ayuda de un sistema automatizado, capaz de minorizar cualquier tipo de error relacionado con la dispensación y empaqueo de medicamentos.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), considera que de todos los sistemas de distribución de medicamentos, el sistema de distribución por dosis unitaria es el que más le permite al personal de farmacia vigilar o darle seguimiento a la terapia medicamentosa del paciente (Ministerio de Salud de Perú, s.f.).

El proceso de dispensación y empaqueo de un medicamento es el procedimiento mediante el cual, el equipo dispensa según la prescripción médica y empaeca el medicamento para que pueda ser administrado en la dosis correcta. Generalmente, los pacientes se encuentran expuestos a los riesgos de entrega tradicional de fármacos, especialmente los pacientes hospitalizados. Por ello, es la razón de la implementación de un sistema de dispensación y empaqueo de medicamentos.

El objetivo principal de un SAD es preparar los medicamentos cuyo manejo inadecuado puede implicar riesgo no tanto para el paciente sino también, para el personal que los maneja. La manipulación de los medicamentos debe realizarse de tal manera que, se garantice la composición, la estabilidad, la seguridad del personal, y la prevención de la contaminación ambiental.

Los SAD constituyen la mejor opción para atacar los problemas que a diario ocurren en los Servicio de Farmacia de los hospitales. Podemos observar que el sistema tradicional lleva consigo muchos errores de medicación que comprometen la vida del paciente, y que con un SAD la seguridad tanto del paciente como la del personal que los maneja no se encuentra en peligro.

Método

El objetivo principal del presente trabajo es determinar que sistemas de dispensación de medicamentos son utilizados en los hospitales, públicos y privados, de mayor demanda en el área metropolitana de Panamá. Como parte de la investigación se estudiará el impacto en la productividad de un departamento de farmacia, en un hospital público panameño, que pasó de un sistema de dispensación tradicional a un sistema automatizado de dispensación de medicamentos.

El estudio sobre los sistemas de dispensación de medicamentos se realizó en ocho instituciones hospitalarias, de las cuales cinco son hospitales públicos y tres son hospitales privados. Dicha muestra fue seleccionada tomando en cuenta la ubicación del hospital en el área metropolitana, y la carga de pacientes que maneja semanalmente. De los hospitales públicos, se seleccionaron dos de la Caja de Seguro Social (C.S.S.) que son: Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid (C.H.M.Dr.A.A.M.), y el Hospital de Especialidades Pediátricas Omar Torrijos Herrera (H.E.P.O.T.H.); y tres del Ministerio de Salud que son: Hospital Santo Tomas (H.S.T.), Hospital del Niño (H.D.N.), y el Instituto Oncológico Nacional Dr. Juan Demóstenes Arosemena (I.O.N.). En cuanto a los hospitales privados, se contó con la participación del Hospital Nacional (H.N.), Clínica Hospital San Fernando (C.H.S.F.), y el Centro Médico Paitilla (C.M.P.).

El I.O.N. es el único hospital en Panamá en haber cambiado su SDMDU tradicional por un sistema automatizado. Basado en lo anterior, nuestro estudio analizará el impacto en la productividad del departamento de farmacia del I.O.N. al introducir un SAD.

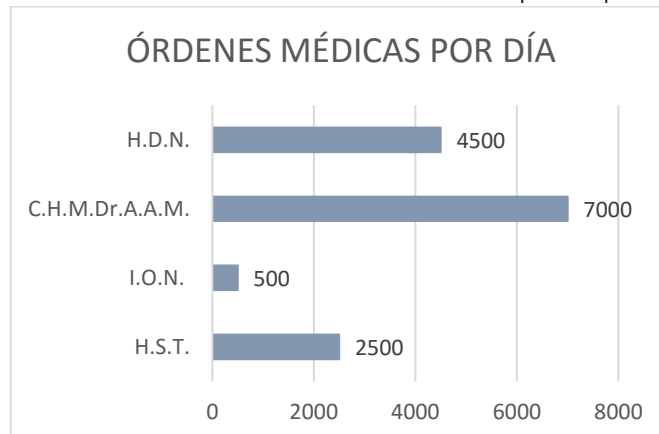
RESULTADOS

Sistemas de dispensación de medicamentos existentes

En esta sección se muestran los resultados y el análisis de los datos obtenidos de la investigación mediante la aplicación del método de recolección de datos, que en este caso fueron entrevistas realizadas al personal de farmacia de ocho instituciones de salud en el área metropolitana de Panamá. Para su mejor comprensión los datos serán colocados de manera tal que se pueda hacer una comparación, de los sistemas de dispensación de medicamentos, entre las instituciones públicas y privadas.

La primera información obtenida, se trata del número aproximado de dispensaciones por día en las instituciones entrevistadas. En promedio, en el sector público se dispensan alrededor de 3,625 órdenes médicas, mientras que, en el sector privado, se dispensan aproximadamente 180 órdenes médicas. En el Gráfico 1 se muestran la cantidad de órdenes médicas por institución del sector público, mientras que en el Gráfico 2 se muestran las correspondientes al sector privado.

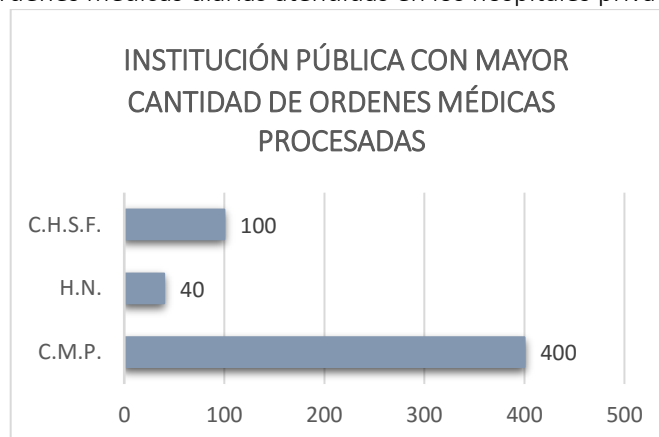
Gráfico 1
Órdenes médicas diarias atendidas en los hospitales públicos



Fuente: Tomlinson & Ibarra (2019)

Como se puede observar en el Gráfico 2, el C.H.M.Dr.A.A.M. Es la institución pública con mayor cantidad de órdenes médicas procesadas (7,000 Órdenes/día), seguido por el H.D.N. (4,500 Órdenes/día), H.S.T. (2,500 Órdenes/día), y por último el I.O.N. (500 Órdenes/día). Durante la realización del estudio no fue posible conseguir el número de órdenes médicas manejadas por el H.E.P.O.T.H., motivo por el cual no se pudo incluir en el presente análisis.

Gráfico 2
Órdenes médicas diarias atendidas en los hospitales privados.



Fuente: Tomlinson & Ibarra (2019)

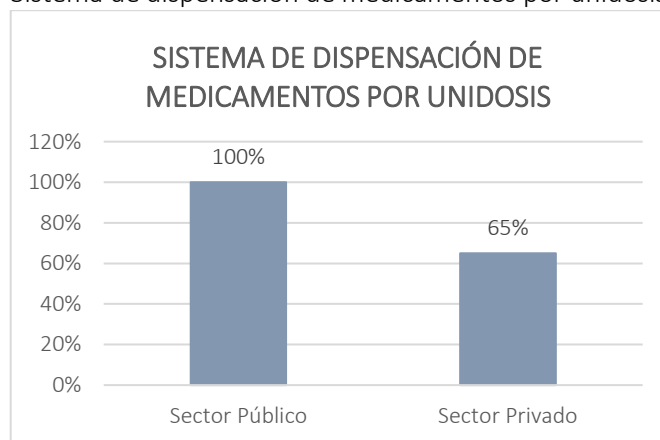
Como se puede observar en el Gráfico 2, el C.M.P. es el hospital privado con mayor manejo de órdenes médicas diarias (400 órdenes/día), seguido de la C.H.S.F (100 órdenes/día), y por último el H.N. (40 órdenes/día). Dada las cifras anteriores, claramente podemos observar que el número de órdenes dispensadas por día de las instituciones del sector público son mayores a la del sector privado. Para conocer la relación cuantitativa entre las

órdenes médicas de ambos sectores, dividimos el número de órdenes médicas del sector público entre el número de órdenes médicas del sector privado. Por tanto, obtuvimos que el número de órdenes médicas dispensadas en el sector público es 20 veces mayor al número del sector privado. En el sector público la institución que dispensa mayor número de órdenes médicas es el C.H.M.Dr.A.A.M. con un total de los 4,500 órdenes médicas, y en el sector privado, el CMP con 400 órdenes aproximadamente.

Referente al conocimiento de SDMDU por parte del personal de farmacia, el 100% de las instituciones públicas entrevistadas tiene conocimiento sobre este sistema de dispensación de medicamentos, mientras que en las instituciones privadas solo el 65% de las instituciones lo conocen. Como se puede apreciar, existe una diferencia del 35% que corresponde a las instituciones del sector privado que no conocen el sistema, como se muestra en el Gráfico 3.

Gráfico 3

Sistema de dispensación de medicamentos por unidosis.

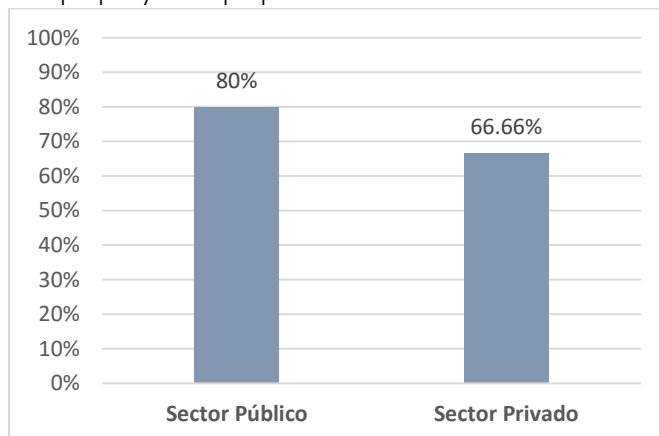


Fuente: Tomlinson & Ibarra (2019)

Respecto a poseer un sistema automatizado para la dispensación por unidosis, el 100% de las instituciones públicas entrevistadas no cuentan con un sistema de este tipo, mientras que, el 33.33%, correspondiente al C.M.P., cuenta con un sistema semiautomatizado. Al momento de la entrevista en el I.O.N. se llevaba a cabo las gestiones para la instalación de un sistema automatizado para la dispensación de medicamentos por unidosis.

Como se muestra en el Gráfico 4, en las instalaciones de salud públicas entrevistadas, el 80% realiza el empaque y reempaque de medicamentos de manera tradicional, es decir, que no utilizan sistemas automáticos para realizar dicha tarea. En las instalaciones privadas, 66.66% no utilizan sistemas automáticos para esta labor. En este punto el C.M.P., es la única institución, tanto en el sector público como en el privado, que dispone de un sistema semiautomatizado para el empaque y reempaque de medicamentos.

Gráfico 4
Empaque y reempaque tradicional de medicamentos.

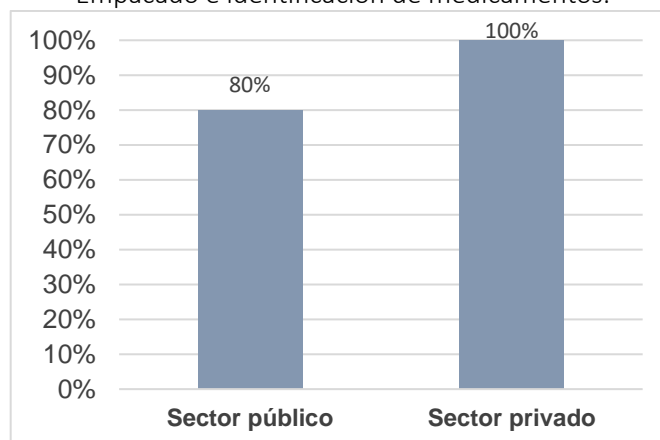


Fuente: Tomlinson & Ibarra (2019)

Con respecto al tiempo de empaque de los medicamentos, todos los entrevistados manifestaron que el tiempo de dispensación depende de la cantidad de pacientes que se tenga. Básicamente se buscaba comparar la rapidez de un sistema automático versus el empaque manual. Realmente el tiempo depende del número de medicamentos a empaquetar por el farmacéuta según prescripción médica.

Una vez empaquetados los medicamentos, estos deben ser identificados correctamente. En este sentido la encuesta realizada arrojó que el 80% de los entrevistados del sector público y el 100% de los entrevistados del sector privado, consideran que identifican correctamente los empaques con información básica como: nombre del paciente, nombre del medicamento y dosis prescrita como se muestra en el **Gráfico 5**.

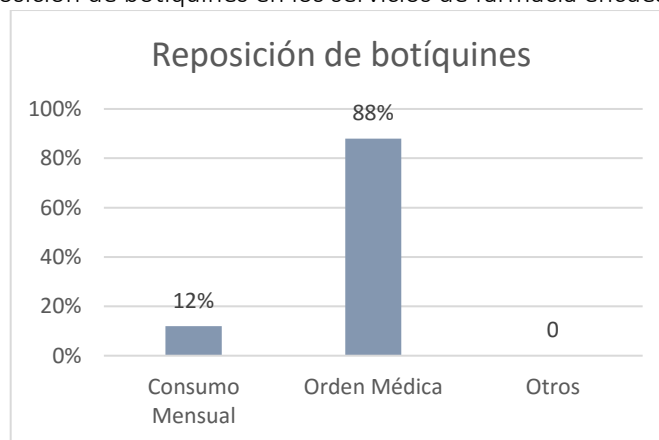
Gráfico 5
Empacado e identificación de medicamentos.



Fuente: Tomlinson & Ibarra (2019)

En cuanto a la reposición de los medicamentos todas las instituciones privadas encuestadas, las realizan según consumo mensual. Mientras que solo tres de las instituciones públicas, las cuales son H.S.T., C.H.M.Dr.A.A.M. y H.E.P.O.T.H. utilizan el mismo método de reposición de botiquines empleado en las instituciones privadas. Un caso especial es el de H.E.P.O.T.H. en donde la reposición de los medicamentos en el depósito se lleva a cabo por consumo mensual, pero la reposición en farmacia se da de acuerdo a orden médica. Siguiendo con esta línea, la reposición de botiquines, el 88% de las instituciones entrevistadas lo llevan a cabo mediante reposición por consumo mensual. Mientras el 12% restante los lleva a cabo mediante reposición por orden médica como se muestra en el Gráfico 6.

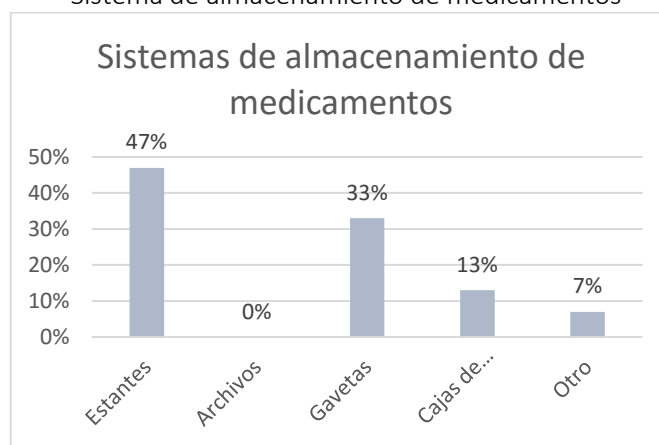
Gráfico 6
Reposición de botiquines en los servicios de farmacia encuestados



Fuente: Tomlinson & Ibarra (2019)

Respecto al almacenamiento de los medicamentos en el **Gráfico 7**, podemos observar que del total de los hospitales encuestados, el 47% de ellos utiliza estantes para el almacenamiento de los medicamentos, seguido de gavetas con un 33%, cajas de dosificación con el 13% y el 7% restante utiliza otro método como lo son los recetarios.

Gráfico 7
Sistema de almacenamiento de medicamentos

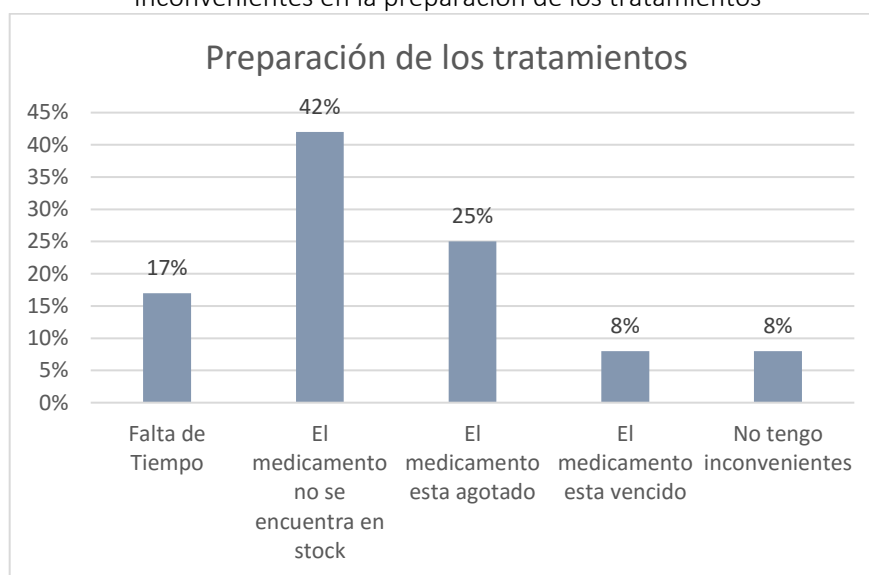


Fuente: Tomlinson & Ibarra (2019)

Respecto a la pérdida de medicamentos el 100% de las instituciones públicas entrevistadas y el 66.66% de las instituciones privadas asume que los medicamentos suelen perderse por deterioro, extravíos o vencimiento.

En el **Gráfico 8**, podemos observar que del total de las instituciones hospitalarias encuestadas el 42% de ellos encuentra dificultades en la dispensación de los medicamentos cuando éstos no se encuentran en stock. Un 25% considera que la dificultad principal es que el medicamento está agotado. Un 17% considera que la dificultad está en la falta de tiempo, debido al número de pacientes atendidos por día y la falta de personal. Un 8% considera que encontrar medicamentos vencidos o en deterioro representa el problema y solamente el 8% restante expresa no tener inconvenientes para la dispensación.

Gráfico 8
Inconvenientes en la preparación de los tratamientos



Fuente: Tomlinson & Ibarra (2019)

Referente a la necesidad de implementar un sistema automatizado de dispensación de medicamentos en formatos de unidosis en el hospital, el 100% de las instituciones públicas entrevistadas consideran que sí es necesario la aplicación, mientras que en el sector privado el 50% considera que no es necesario la aplicación de este tipo de sistemas. En cuanto a participar de un proyecto para la implementación de un sistema automatizado para la dispensación de unidosis, el 100% de los entrevistados del sector público estarían de acuerdo a participar en el proyecto de esta clase, mientras que en el sector privado solo el 33.33% de las instalaciones de salud entrevistadas estarían dispuestos a participar en este tipo de proyecto. Este resultado es debido a que, como hemos analizado anteriormente la demanda de medicamentos, la demanda de medicamentos en el sector privado es menor al demandado en el sector público.

En cuanto a los resultados de la encuesta referente a la percepción sobre la importancia de la preparación correcta de los tratamientos farmacológicos, el 100% de las instituciones

entrevistadas está de acuerdo en que es de suma importancia respetar las dosis prescritas para evitar errores de medicación y garantizar la seguridad de los pacientes.

I.O.N.: Transición de un sistema de dispensación manual de unidosis a un sistema automatizado

Analizamos la productividad de la farmacia del Instituto Oncológico Nacional Dr. Juan Demóstenes Arosemena (I.O.N.). El sistema de dispensación de medicamentos en el I.O.N. sufrió cambios en cuanto al tipo de sistema utilizado, antes disponían de un sistema manual, y desde finales del año 2018 cuentan con un sistema automatizado. El antiguo sistema de unidosis, abarcaba el 100% de las camas de todas las unidades de atención. El proceso de dispensación de medicamentos en el I.O.N., está bajo la responsabilidad de un técnico farmacéutico y un farmaceuta encargados de la revisión, dispensación y distribución de los medicamentos.

Para estudiar el efecto de introducir el sistema de automatizado, se analizó la dispensación de la “Sala de medicina”, que cuenta con 54 camas para hospitalización, divididas entre hombres y mujeres. Durante el estudio, se dispensaron medicamentos en 50 camas, que eran las que en ese momento se encontraban ocupadas, que representan el 31.44% de todas las camas que se encuentran dentro del SDMSU automatizado.

A continuación se definirán los aspectos evaluados en esta investigación:

- Tiempo de dispensación: Tiempo (ya sea exacto o aproximado) en el que se lleva a cabo una dispensación en minutos (Tiempo de dispensación= Td).
- Reducción de tiempo: tiempo que tomaba el antiguo sistema (exacto o aproximado) menos el tiempo del sistema automatizado [tiempo del antiguo sistema (Ts) – tiempo del sistema automatizado (Tsa)].

Teniendo en cuenta en cuenta el Td, tanto del antiguo sistema de dispensación como el del nuevo sistema de dispensación podremos calcular si con la implementación del sistema automatizado podemos visualizar reducción de tiempo. En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos durante el estudio.

Cuadro 2
Resultados obtenidos durante el estudio

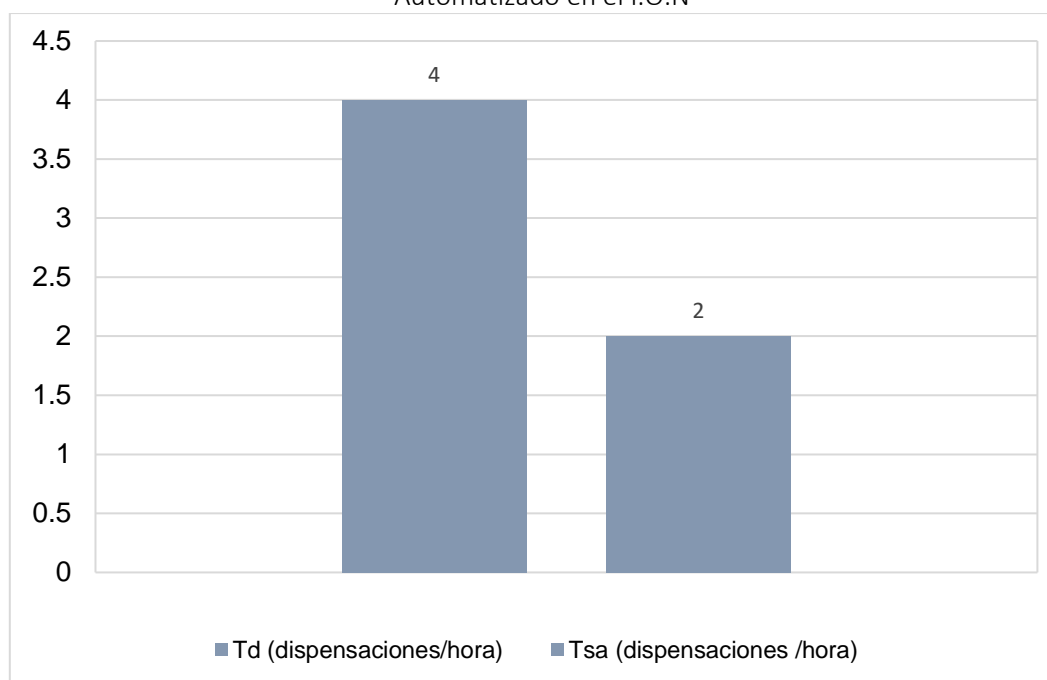
Sistema de Dispensación Tradicional	Antiguo sistema de dispensación		SDMSU automatiza do	Nuevo sistema automatizado de dispensación	
Dispensaciones	Dispensación de tabletas	Dispensación de inyectables	Dispensaci ones	Dispensación de tabletas	Dispensación de inyectables
Tiempo de dispensación (Td)	240 min (4 horas aproximadamente)		Tiempo de dispensaci ón (Tsa)	15 min (equipo automatizado)	90 min

Fuente: Tomlinson & Ibarra (2019)

Cabe destacar, que las mediciones se llevaron a cabo durante la dispensación en un escenario real, en donde solo fue posible la obtención de una medición para cada sistema. Tomando en cuenta los datos obtenidos podemos calcular la reducción de tiempo de dispensación de medicamentos, tiempo de dispensación (Td) menos el tiempo de dispensación de sistema automatizado (Tsa). Con este cálculo, obtuvimos que hubo una reducción de 135 min, es decir que, el tiempo se redujo 2 horas menos que el antiguo sistema de dispensación, por lo que hubo una optimización del tiempo utilizado del 56.25% con respecto al tiempo del antiguo sistema, como se puede observar en el **Gráfico 9**.

Gráfico 9

Disminución del tiempo de dispensación de medicamentos: Sistema Manual vs. Sistema Automatizado en el I.O.N



Fuente: Tomlinson & Ibarra (2019)

Tomando en cuenta lo anterior, se puede interpretar que el tiempo de dispensación, para el caso en estudio (tabletas + inyectables), de la misma cantidad de medicamentos con el sistema tradicional (240 minutos) en comparación a la dispensación con el SDMSU automatizado (105 minutos), ha sido reducida aproximadamente 2.3 veces (Td/Tsa).

Consideraciones

Con este estudio, podemos observar la situación actual del país en cuanto a los sistemas de dispensación de medicamentos y al avance tecnológico en cuanto a la implementación de sistemas automatizados en el área de farmacia. Como se ha podido observar el sistema de dispensación de medicamentos predominante en Panamá tanto en el sector público como

privado es el tradicional, muy probablemente por sus requerimientos mínimos de recursos económicos y de infraestructura.

A pesar de que con la implementación del SDMSU automatizado ha logrado optimizar el tiempo de dispensación de medicamentos, reduciendo el tiempo 2.3 veces en comparación al método tradicional, un aspecto muy importante a evaluar a futuro sobre el nuevo sistema de dispensación automatizado del I.O.N., es hacerlo un sistema completamente automatizado, es decir, que la dispensación de tabletas y la de inyectables se lleven a cabo dentro de un sistema integrado, capaz de acortar el tiempo total de dispensación y así, lograr que la prestación del servicio farmacéutico del I.O.N sea mucho más eficiente.

CONCLUSIONES

Una vez concluido el estudio podemos determinar que:

A. En cuanto a la situación actual de los sistemas de dispensación de unidades en el Área Metropolitana de Panamá:

- El número de órdenes médicas dispensadas en el sector público es 20 veces mayor al número del sector privado. Según el número de órdenes dispensadas, podemos decir que entre todos los hospitales públicos, el C.H.Dr.A.A.M. es el de mayor demanda hospitalaria en el área metropolitana.
- Referente al conocimiento de SDMDU, en el sector público el 100% de las instituciones, tiene conocimiento de ellos y el 65% de las instituciones lo conocen.
- Para su momento, el 100% de las instituciones del sector público no contaban con sistemas automatizados para la dispensación de medicamentos y un 33.33% del sector privado cuenta con un sistema semiautomatizado.
- El tiempo de empaque de medicamentos depende de la cantidad de medicamentos a dispensar.
- Los empaques de los medicamentos se identifican correctamente con información como: nombre del paciente, nombre del medicamento y dosis prescrita.
- El 88% de las instituciones llevan a cabo la reposición de medicamentos por consumo mensual y un 12% lo lleva a cabo mediante reposición por orden médica.
- 47% de ellos utiliza estantes para el almacenamiento de los medicamentos, seguido de gavetas con un 33%, cajas de dosificación con el 13% y el 7% restante utiliza otro método como lo son los recetas.
- Si existe pérdidas de medicamentos ya sea por deterioro, extravíos o vencimiento.
- Con respecto a las dificultades en la dispensación de medicamentos el 42% de ellos encuentra dificultades en la dispensación cuando éstos no se encuentran en stock. Un 25% considera que la dificultad principal es que el medicamento está agotado. Un 17% considera que la dificultad está en la falta de tiempo, debido al número de pacientes atendidos por día y la falta de personal. Un 8% considera que encontrar medicamentos vencidos o en deterioro representa el problema y solamente el 8% restante expresa no tener inconvenientes para la dispensación.

- El 100% de las instituciones públicas entrevistadas consideran que sí es necesario la aplicación de SAD, mientras que en el sector privado el 50% considera que no es necesario la aplicación de este tipo de sistemas.

B. En cuanto al análisis de la implementación de SAD en la farmacia del I.O.N:

- En la actividad farmacéutica del hospital que analizamos, el principal inconveniente en la preparación de la terapia con el antiguo sistema era el tiempo que ocupaban en el empaque de tabletas.
- El nuevo sistema de dispensación introducido es un sistema avanzado que permite el control de medicamentos.
- En el tiempo que analizamos la actividad de la farmacia, pudimos observar que el principal inconveniente en la dispensación de medicamentos es que el medicamentos se encuentra agotado.
- El tiempo de dispensación del antiguo sistema era de aproximadamente 4 horas.
- Con la implementación del SAD, el tiempo de dispensación se redujo 2 horas aproximadamente, por lo que hubo una reducción del 56.25% con respecto al tiempo del antiguo sistema.
- Actualmente la demora en la preparación es el empaque de los inyectables que se lleva a cabo de manera manual.
- Los sistemas automatizados en farmacia constituyen la mejor opción para atacar los problemas que a diario ocurren en los servicios de farmacias en los hospitales.

Agradecimientos

Los autores les extienden un profundo agradecimiento a todas las personas, de los servicios de farmacia encuestados, que aportaron su tiempo y conocimiento para la elaboración del presente estudio. Igualmente, a los revisores que aportaron observaciones y correcciones valiosas para el mejorar la calidad de este documento. Un reconocimiento especial al servicio de farmacia del I.O.N. por permitirnos conocer más acerca de la tecnología SDMSU automatizado y su impacto positivo en la mejora de la atención de los pacientes.

Limitaciones

La principal limitación de este estudio fue la dificultad para acceder a la información de los servicios de farmacia de la muestra inicial, motivo por el cual se tuvo que reducir la muestra. A pesar de las solicitudes formales, se presentaron restricciones en algunos servicios de farmacia hospitalarios, tanto del sector público como privado, para el acceso a la información como a sus instalaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avendaño, G. E. (2013). Análisis crítico sobre la formación en ingeniería biomédica. En J. Fol

Anacleto, T., Cesar, C., Rosa, M. y Perini, E. (2005). *Medication errors and drug-dispensing systems in a hospital pharmacy*. Vol.60, n.4, pp.325-332. ISSN 1807-5932. Recuperado de: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S180-69322005000400011&script=sci_abstract.

Agrawal, A. (2009). *Medication error prevention using information technology systems*. British Journal of Clinical Pharmacology.

Caban, J., Rosebrock, A. y Yoo, T. (2012). *Automatic Identification of prescription drugs using shape distribution models*. University of Maryland. Recuperado el 27 de junio de: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sciarttext&pid=S003498872014000100007>.

“Características generales de las tecnologías utilizadas en dispensación, empackado y etiquetado de unidosos y multidosos”. (s.f.). Recuperado de: <http://asisfarma.com.co/index.php/servicios/distribución-de-equipos/equipos-para-dosis-unitarias>.

Clinic-Cloud. (2017). *Las 5 empresas de tecnologías médicas más rentables*. Recuperado el 15 de abril de 2018 de <https://clinic-cloud.com/blog/las-5-empresas-de-tecnologia-medica-mas-rentables/>.

Escuela Andaluza de Salud Pública S.A. (2012). *Evolución y tendencias futuras del Hospital*. Granada, España.

Golberg, L. (2010). *Unit Dose Drug distribution in Europe*. Editorial HPE.

“HD MEDI Pharmaceutical Automation”. (s.f.). Recuperado de: <http://blisteraapplications.es/pdf/DOOR%20TYPE.pdf>

HEFLO. (2015-2018). *La automatización de los procesos*. Recuperado el 10 de mayo de 2018 de <https://www.heflo.com/es/blog/automatizacion-procesos/que-es-la-automatizacion-de-procesos/>.

Índice Mexicano de Revistas Biomédicas Lationoamericanas. (1998-2018). *Sistemas automatizados*. Recuperado el 10 de mayo de 2018 de <http://www.lmbiomed.com/1/1/articulos.php?method=getDataAdvise&idrevista=87&idarticulo=318226->.

La Prensa Argentina (2014). *El uso racional de medicamentos* Recuperado el 5 de junio de 2018 de <http://www.laprensa.com.ar/423078-Las-causas-y-riesgos-del-uso-irracional-de-medicamentos.note.aspx>.

Ministerio de Salud de Panamá. (2014). *Errores de administración medicamentos*. Recuperado el 12 de marzo de 2018 de: http://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/alertas/alerta_errores_de_adm.pdf.

Murray, D. y Shjonia K. (s. f.). *Unit-Dose Drug Distribution System*. Agency of Healthcare Research and Quality, US Department of Health & Human Services. Recuperado de [https://archive.ahrq.gov/cliniv/ptsafesty/](https://archive.ahrq.gov/cliniv/ptsafesty/chap10.htm) chap10.htm.

Pérez, A. (2014). *Sistema de distribución de medicamentos por dosis unitarias*. Recuperado el 30 de junio de 2018 de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S0036363420140003300013.

Portafolio Innovation. (2016). *Tecnologías al Servicio de la Salud*. Recuperado el 12 de abril de 2018 de <http://www.portafolio.co/innovacion/tecnologia-al-servicio-de-la-salud.502059>

Ramirez, V. (2013). *Comparación de Sistemas de Distribución de Medicamentos de forma tradicional y por dosis unitarias en el servicio de Medicina de mujeres del Hospital de Belén de Trujillo Mayo – Diciembre 2011*. Informe de Prácticas Pre-Profesionales. Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/1350/Ramirez%20Rodr%C3%ADguez%2C%20V%C3%ADctor%20Oswaldo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Scheckelhoff, D. y Thompson, K. (2002). *Unit Dose packaging and patient safety*. American Society of Health System Pharmacists. Vol 59.

- Smith, A. (2014). *Errores de la medicación*. Recuperado el 30 de abril de 2018 de <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci-arttex&pid=S003498872014000100007>.
- Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria. (2007). *Sistemas automatizados de dispensación de medicamentos en almacén general de farmacia*. Recuperado el 20 de junio de 2018 de <https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/criterios/sad.pdf>.
- Vanegas, L. (2017). *Implementación de sistema de unidosis y evaluación del impacto económico en la Asociación Hospicio de San José Guatemala*. (Informe final de tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala Recuperado de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2583.pdf

DETERMINANTES DEL INCUMPLIMIENTO DE PAGO DE IMPUESTO PREDIAL DE LOS POBLADORES DEL BARRIO BELLAVISTA DE LA CIUDAD DE PUNO, PERÚ-2018

DETERMINANTS OF THE NON-COMPLIANCE OF PREDIAL TAX PAYMENTS OF THE PEOPLE OF THE BELLAVISTA DISTRICT OF THE CITY OF PUNO, PERU – 2018

AUTORES: JULIO CESAR QUISPE MAMANI¹, MARCIAL MAMANI GUEVARA², DOMINGA MICAELA CANO CCOA³, YSRAEL ALBERTO TUESTA RAMIREZ⁴

¹Ingeniero Economista, Magister en Desarrollo Regional y Medio Ambiente, Universidad de Valparaíso-Chile. Docente de la Universidad Nacional del Altiplano (Perú). Enlace ORCID <http://orcid.org/0000-0002-3938-1459>. ²Ingeniero Economista, Maestría en Economía, Universidad Nacional del Altiplano-Perú. Docente de la Universidad Nacional del Altiplano (Perú). ³Ingeniero Economista, Doctora en Contabilidad y Administración, Universidad Nacional del Altiplano-Perú. Docente de la Universidad Nacional de Juliaca (Perú). Enlace ORCID <http://orcid.org/0000-0003-2146-3955>. ⁴Economista. Docente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (Perú).

Correos: jcesarqm@yahoo.es

Recibido: 20 de abril de 2019

Aceptado: 04 de mayo de 2019

Resumen

PALABRAS CLAVE:

Barrio, impuesto predial, incumplimiento, ingreso, modelo logit probit.

El objetivo del estudio, fue analizar los diversos factores que ocasionan que haya un incumplimiento en el pago del impuesto predial para el barrio bellavista. Las metodologías utilizadas para establecer dicha relación fueron la utilización de un modelo econométrico, específicamente el modelo logit-probit. La población para el estudio fue obtenida de la página web del municipio de Puno y para la muestra se fraccionó la cantidad total de viviendas del distrito de Puno entre los diversos barrios que existen. Se concluye que los factores que contribuyen al incumplimiento de los pagos en el impuesto predial son el nivel de ingreso familiar, grado de instrucción del dueño del predio, ocupación del propietario y el tipo de material del predio, en el barrio Bellavista. Además, el tipo de impacto que tiene el nivel de ingreso familiar, grado de instrucción del dueño del predio y



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

la ocupación del propietario es positiva respecto al pago del impuesto predial y además son significativas; en cambio la variable tipo de material del predio, es la única que tiene un impacto negativo y es significativo. Los antecedentes obtenidos de la relación existente muestran una relación positiva entre estas dos variables, apoyando así a la veracidad de los resultados.

KEYWORDS:

Neighborhood, property tax, breach, income, logit probit model.

Abstract

The objective of the study was to analyze the various factors that cause a breach in the property tax payment for the Bellavista neighborhood. The methodologies used to establish this relationship were the use of an econometric model, specifically the logit-probit model. The population for the study was obtained from the web page of the municipality of Puno and for the sample the total amount of housing in the district of Puno was divided among the different neighborhoods that exist. It is concluded that the factors that contribute to the nonfulfillment of the payments in the property tax are the level of family income, degree of instruction of the owner of the property, occupation of the owner and the type of material of the property, in the Bellavista neighborhood. In addition, the type of impact that has the level of family income, degree of instruction of the owner of the property and occupation of the owner is positive with respect to the payment of property tax and are also significant; however, the variable type of material of the property, is the only one that has a negative impact and is significant. The background obtained from the existing relationship shows a positive relationship between these two variables, thus supporting the veracity of the results.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se evidencio una desaceleración en la recaudación del impuesto predial en beneficio de los gobiernos locales y el estado (Ibarra & Sotres, 2009); en el caso peruano, esta se convierte en una trampa que faculta a los gobiernos locales su recaudación, de ahí que resalta la importancia del impuesto predial, donde en la actualidad no se da mucha importancia, a pesar de ser muy importante como fuente de generación de ingresos para las municipalidades (Mantilla & De La Cruz, 2019).

La definición general del impuesto predial, es que es un tributo de periodicidad anual, que es aplicado al valor de los predios urbanos y rurales de un distrito; según Bermedo, Quintanilla & Vargas (2013) se define como aquel impuesto, donde su recaudación corresponde a los gobiernos locales (Bocanegra & Jassenia, 2018).

Estas son una fuente de ingreso para los gobiernos locales, y la no contribución o la generación de morosidad o un retraso en la misma constituye uno de los factores que afecta a la generación de ingresos propios del gobierno local (Alata, 2016). En los distintos

gobiernos locales existentes a nivel del país, el retraso y el incumplimiento del impuesto predial genera una afectación negativa sobre el cumplimiento de las metas planteadas por los municipios, ocasionando una disconformidad de parte de las autoridades y la población beneficiaria.

Analizando en el caso específico de la ciudad de Puno, se puede indicar que el 67% de la población contribuyente, incumplen en el pago de sus impuestos al Gobierno Local de Puno (Flores, 2016). Por lo que, el problema central se sustenta en la existencia del incumplimiento de los pagos en el impuesto predial del barrio bellavista de la ciudad de Puno, Perú – 2018 (Ver tabla 1).

En este sentido, las preguntas planteadas en la presente investigación fueron: ¿Cuáles son los factores que contribuyen al incumplimiento de los pagos en el impuesto predial son el nivel de ingresos, el número de hijos y el grado de instrucción en el barrio Bellavista de la ciudad de Puno, Perú - 2018?, ¿Cómo incentivar a que los propietarios de los predios paguen a tiempo su impuesto? (Ver tabla 1).

El tema del impuesto predial, es de menor importancia para la mayoría de la población, a pesar de que se han realizado muchos esfuerzos en incrementar los niveles de recaudación de la misma, por lo gobiernos locales a nivel nacional; además, se conoce que la mayor parte de las municipalidades aun dependen de las trasferencias presupuestales realizadas por el Gobierno Central, ya sea por fuente Foncomun y Recursos determinados principalmente.

Por lo que, es importante evidenciar los motivos del incumplimiento del impuesto predial, y mediante la presente investigación, se pretendió analizar el tipo de impacto que tienen los factores que contribuyen al incumplimiento de los pagos en el impuesto predial del barrio Bellavista de la ciudad de puno, Perú – 2018 (Ver tabla 1); toda vez que la recaudación a nivel de los gobiernos locales no se encuentra suficientemente estudiada (Quispe, 2015).

Además, la hipótesis general de la investigación es que el nivel de ingreso familiar, grado de instrucción del dueño del predio y la ocupación del propietario tienen un impacto positivo sobre el incumplimiento de los pagos en el impuesto predial del barrio Bellavista de la ciudad de puno; mientras que el tipo de material del predio tiene un impacto negativo (Ver tabla 1).

Tabla 1:
Resumen problema, preguntas, hipótesis y objetivos

Problema general	Preguntas	Objetivo general	Objetivos específicos	Hipótesis general	Hipótesis específicas
Existencia del incumplimiento de los pagos en el impuesto predial del barrio bellavista de la ciudad de Puno, Perú - 2018.	¿Cuáles son los factores que contribuyen al incumplimiento de los pagos en el impuesto predial son el nivel de ingresos, el número de hijos y el grado de instrucción en el barrio Bellavista de la ciudad de Puno, Perú - 2018?	Analizar el tipo de impacto que tienen los factores que contribuyen al incumplimiento de los pagos en el impuesto predial del barrio Bellavista de la ciudad de Puno, Perú - 2018.	Identificar los factores que contribuyen al incumplimiento del pago en el impuesto predial del barrio Bellavista de la ciudad de Puno, Perú - 2018.	El nivel de ingreso familiar, grado de instrucción del dueño del predio y la ocupación del propietario tienen un impacto positivo sobre el incumplimiento de los pagos en el impuesto predial del barrio Bellavista de la ciudad de Puno; mientras que el tipo de material del predio tiene un impacto negativo.	Los factores que contribuyen al incumplimiento de los pagos en el impuesto predial son el nivel de ingreso familiar, grado de instrucción del dueño del predio, ocupación del propietario y el tipo de material del predio, en el barrio Bellavista.
	¿Cómo incentivar a que los propietarios de los predios paguen a tiempo sus impuestos?		Proponer estrategias de incentivación a los ciudadanos para que realicen el pago del impuesto en tiempo oportuno.		

Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Desarrollo

En la actualidad, el problema que enfrenta el Estado ante la gestión del impuesto predial a consideración de Jaquenhua & Vanessa (2018) está concentrado en que el sistema de administración tributaria aun no supera el escenario de prestación de una mejor información y esta no es adecuada para la toma de decisiones que realiza la población contribuyente, evidenciándose en el reporte SIAF –RENTA-GL este escenario incómodo (Reátegui, 2006). Como contraparte a esta, el estado al implementar este sistema tiene como objetivo realizar una mejor gestión administrativa, buscando el incremento de la calidad y nivel de servicio a los contribuyentes debido al nivel de confiabilidad y seguridad de la información (Guzmán & Wilber, 2012).

Es necesario considerar que la fuente de ingreso de los contribuyentes es uno de los factores que influye en gran manera en la existencia de la morosidad del impuesto predial, como parte de los deberes de la población con el estado, determinándose que este factor influye de manera directa sobre la morosidad, justificado a la baja generación de ingresos económicos de las mismas, afectado directamente a su calidad de vida de las personas (Pérez, 2008); además que esta es complementada por otros factores como el nivel de formación educacional, tipo de actividad a la que se dedica, entre otras.

La generación de la morosidad con el tiempo se convierte en una traba a futuro para el contribuyente. Toda vez que el pago de tributos es un asunto crónico que el Perú viene de generaciones pasadas. De ahí que evitar la morosidad del impuesto predial se podría proponer el desarrollo de eventos de fortalecimiento de capacidades, plasmado en capacitaciones realizadas por las instituciones competentes, a fin de evitar el incumplimiento; todo esto acompañado de incentivos (Rojas, 2006).

Es necesario conocer los factores que inciden en el incumplimiento del impuesto prediales y muchos autores como Jaquehua & Vanessa (2018), intentaron determinar que la carencia de dinero y la existencia de la corrupción como principales factores que inciden en el incumplimiento del impuesto predial, todo esto explicado en un modelo econométrico en 34.5% y 34.5%. Por lo que, para lograr una mayor dinamización de la contribución, los gobiernos locales deberían de orientar a los contribuyentes para su contribución permanente, promoviendo una cultura tributaria más eficiente.

Aspecto constitucional

Según la constitución política del Perú, el estado es el poder político organizado en tres niveles de gobierno: local, regional y nacional, donde cada uno de estos cumple diferentes funciones cuyo costo operativo debe ser financiado con tributos. En el Perú, los gobiernos locales son las instituciones públicas que representan a una población para la correcta prestación de servicios públicos dentro de su circunscripción. También para una eficiente asignación de recursos, ya que estos conocen mejor las necesidades de su población, buscando alcanzar mayores niveles de eficiencia al poder incluir a toda su población (Silva, Páez & Rodríguez, 2008).

En relación a los impuestos municipales, estos deben cumplir dos principios; la primera es que los gobiernos locales cuenten con mayores recursos que les permita manejar eficientemente sus ingresos para así poder cubrir eficientemente sus necesidades y el segundo es que estos impuestos deben permitir a que las municipalidades determinen la tasa a contribuir de alguna de estas, incidiendo hacia la mayor responsabilidad en el proceso de cobranza (Vilalta, 2015).

En el caso de Perú las municipalidades no cuentan con un suficiente nivel para cumplir dichas expectativas, se espera que con el pasar del tiempo se mejore. Por otro lado, según Reátegui (2016), señala que la recaudación tributaria no debe ser descuidada ya que es un factor esencial para el desarrollo económico.

Impuesto predial en el Perú

Este es el impuesto más importante ya que representa el 72% de los ingresos que tiene una municipalidad, para así no depender demasiado de las transferencias que se percibe del

Foncomun; este impuesto es la aplicación en los predios urbanos y rurales (Quino & Xiomara, 2018).

Las obligaciones tributarias, es el vínculo que se tiene entre el acreedor y el deudor que tiene por objetivo el cumplimiento de las obligaciones tributarias (Quino & Xiomara, 2018).

Sujetos del impuesto, son los que intervienen dentro de las obligaciones estos pueden ser sujeto pasivo (deudor tributario) o sujeto activo (acreedor tributario) (Quino & Xiomara, 2018).

Evasión tributaria, cuando los individuos no reportan todos sus ingresos a partir de actividades desempeñadas ya sea en negocios o de cualquier otra índole. La economía comprende la producción de bienes y servicios las cuales pueden estar no registrados lo cual están exentos al pago de impuestos (Quino & Xiomara, 2018).

Educación tributaria, sin duda es un factor de gran importancia, ya que un adecuado nivel de educación de la población para que estos entiendan la verdadera razón del pago de los impuestos pueda aceptar que este es el precio de vivir en la sociedad, por lo que va relacionada con el nivel educativo que tiene cada individuo según a su grado de instrucción, estas pueden ser la educación inicial, educación primaria, educación secundaria y educación superior (Gallardo & Buleje, 2008)

La educación inicial: comprende a niños que tienen 3 años hasta los 5 años.

Educación primaria: comprende a niños desde los 6 años hasta los 11 años, tiene una extensión de 6 años.

Educación secundaria: comprende a chicos desde 12 años hasta los 16 años, tiene una extensión de 5 años.

Educación superior: comprende a las universidades e institutos, sean estatales o públicas, consta de 5 años de estudio.

Capacidad Económica, definida a la mejora de las condiciones económicas en las que se encuentra la persona, para adquirir un bien o servicio sea público o privado; esto debido a su nivel económico considerable, ya que, a mayor nivel de ingreso, las familias tienen menos probabilidad de ser pobres. Ahora en el enfoque tributario, muchas veces las familias se verán afectadas de manera negativa, ya que estas deberán hacer el pago de las obligaciones tributarias, sea por los bienes que posee o algún otro.

Análisis de los impuestos

Es el tributo cuyo pago no origina por parte del Estado una contraprestación directa en favor del contribuyente (Corbacho, Fretes & Lora, 2013).

Impuestos Municipales

Administración Distrital

- Impuesto Predial
- Impuesto a los Juegos (bingo, rifas y similares)
- Impuesto de Alcabala
- Impuesto a los Espectáculos Públicos no deportivos

Administración Provincial

- Impuesto al Patrimonio Vehicular
- Impuesto a las Apuestas
- Impuesto a los Juegos (loterías)

Según De Cesare (2016) antes de la ley de tributación municipal, aprobada en 1993, en el Perú existían varios tributos que de alguna forma afectaban las propiedades prediales como:

- Impuesto al valor predial, esta grava el valor total de los predios.
- Impuesto a los terrenos sin construir, considerándose no construido por lo menos en las dos terceras partes.
- Impuesto al patrimonio personal, este gravaba el valor bruto acumulado de los bienes encontrados en los predios.
- Impuesto sobre renta presunta de la casa habitación, gravaba si el propietario del predio lo ocupaba o no.

El Impuesto Predial

Es el Impuesto cuya recaudación, administración y fiscalización corresponde a la Municipalidad Distrital donde se ubica el predio. La Municipalidad Metropolitana de Lima es la encargada de la recaudación, administración y fiscalización del Impuesto Predial de los inmuebles ubicados en el Cercado de Lima. Este tributo grava el valor de los predios urbanos y rústicos en base a su autoevalúo. El autoevalúo se obtiene aplicando los aranceles y precios unitarios de construcción aprobados por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento todos los años (Iregui, Melo & Ramos, 2005).

Método

La presente investigación es de tipo descriptivo, el cual busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno sometido a análisis (Hernández, Fernández & Baptista, 2010).

Respecto a la recolección de datos o información, se usó diversas fuentes tanto primarias como secundarias tales son las encuestas, entrevistas realizadas a la población de estudio, en general que sean propietarios de uno o más predios, la calidad de vida o factores que afectan al desarrollo de una persona según el plan estratégico de la municipalidad de Puno (Aignerren, 2002).

Además, para el cumplimiento de los objetivos trazados, la presente investigación se constituye básicamente por los contribuyentes del barrio Bellavista, que realizan sus pagos en la Gerencia de Administración Tributaria de la Municipalidad Provincial de Puno; asimismo, se tuvo en cuenta los diversos trabajos que existen con respecto al tema.

Para el alcance de los objetivos trazados se usó un modelo econométrico, con las características de un modelo logit y probit, a fin de verificar las hipótesis referentes al tema (Pino, 2007), este instrumento nos permitirá conocer la relación que existe entre las variables explicativas (nivel de ingreso familiar, grado de instrucción, N° de miembros de familia y la información que brinda la municipalidad) sobre la variable explicada (recaudación del impuesto predial).

La representación del modelo logit es:

$$\text{prob}[Y = 1] = F(X'_i \alpha) = \frac{e^{X'_i \alpha}}{1 + e^{X'_i \alpha}}$$

$$\begin{aligned} \text{prob}[PAGO = 1] &= F(X'_i \alpha) \\ &= \frac{e^{\alpha_0 + \alpha_1 \text{ESTADOCIVIL} + \alpha_2 \text{INFORMACION} + \alpha_3 \text{INGRESO} + \alpha_4 \text{INSTRUCCION} + \alpha_5 \text{MATERIAL} + \alpha_6 \text{MFAMILIA} + \alpha_7 \text{NPREDIOS} + \alpha_8 \text{OCUPACION}}}{1 + e^{\alpha_0 + \alpha_1 \text{ESTADOCIVIL} + \alpha_2 \text{INFORMACION} + \alpha_3 \text{INGRESO} + \alpha_4 \text{INSTRUCCION} + \alpha_5 \text{MATERIAL} + \alpha_6 \text{MFAMILIA} + \alpha_7 \text{NPREDIOS} + \alpha_8 \text{OCUPACION}}} \end{aligned}$$

Donde:

PAGO = Contribuye

INGRESO = Nivel de ingreso de la familia

ESTADOCIVIL = Estado Civil del propietario del predio

INSTRUCCION = Grado de instrucción del dueño del predio

MFAMILIA = N° de miembros de familia

INFORMACION = Información que brinda la municipalidad

NPREDIOS = cantidad de predios

OCUPACION = Ocupación del propietario del Predio

MATERIAL = Tipo de material del Predio

La representación del modelo Probit es

$$\text{prob}(\text{pago} = 1) = F(X'_i \alpha) = \int_{-\infty}^A e^{\frac{-(A)^2}{2}}$$

Donde:

$$\begin{aligned} PAGO &= \alpha_0 + \alpha_1 \text{ESTADOCIVIL} + \alpha_2 \text{INFORMACION} + \alpha_3 \text{INGRESO} \\ &\quad + \alpha_4 \text{INSTRUCCION} + \alpha_5 \text{MATERIAL} + \alpha_6 \text{MFAMILIA} + \alpha_7 \text{NPREDIOS} \\ &\quad + \alpha_8 \text{OCUPACION} \end{aligned}$$

La población en análisis fue de 1,624 predios en el barrio Bellavista, la mayoría de los predios fue de material noble. Del cual, la muestra asciende a 311 viviendas analizadas, las mismas que estuvieron representados por jefes de familia, a la misma que se aplicó un muestreo aleatorio simple (Otzen & Manterola, 2017), considerando una muestra con conocimiento de la población y usando siempre la fórmula de muestreo aleatorio, tomando como dato de que la mitad de las personas contribuyen en el pago del impuesto predial, con un nivel de confianza del 95% y un error del 5%.

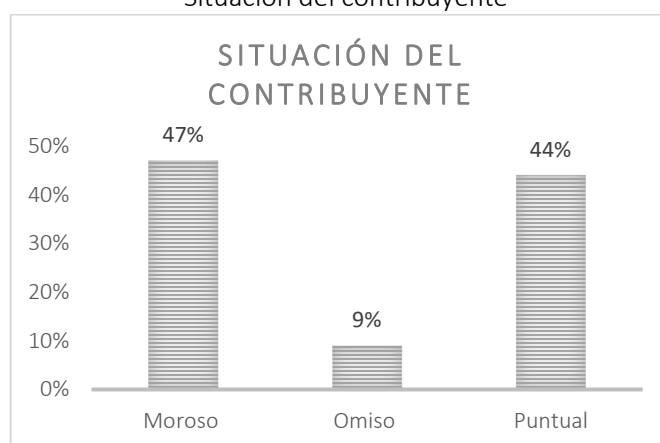
Resultados

Análisis descriptivo del contribuyente

En esta sección se muestra los resultados obtenidos según la hipótesis planteada, de acuerdo a las encuestas realizadas que fueron de un total de 311 viviendas, la misma que se obtenido a través de un muestreo aleatorio simple, explicando el comportamiento de las variables que posee el modelo logit-probit, comparando así cuál de los dos modelos es el mejor para dicho estudio.

El comportamiento del contribuyente sobre los distintos escenarios está sujeto a distintos factores que le permiten tomar una decisión acorde a la realidad en la que se encuentra, de ahí que su análisis es determinante, para evidencias las dificultades que estas enfrentan en el proceso de contribución del impuesto predial.

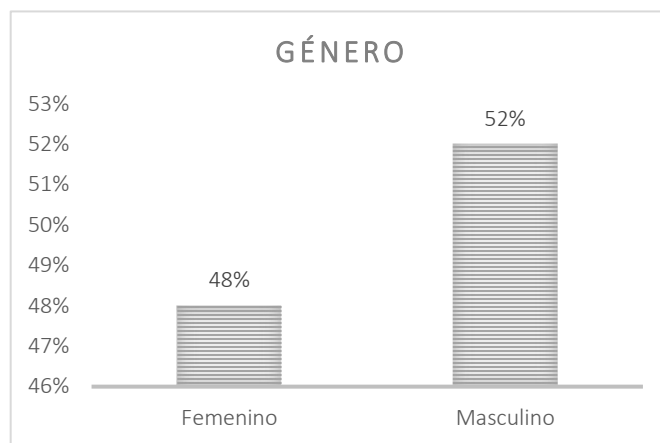
Grafica 1
Situación del contribuyente



Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

En este sentido, de la muestra encuestada, el 47% (148 personas) son morosas, las mismas que realizan el pago con retraso o en algunos casos a destiempo; el 44% (136 personas) son puntuales en el pago del impuesto predial y el 9% (27 personas) no realizan ningún tipo de contribución de impuesto en dicha municipalidad (Ver grafica 1).

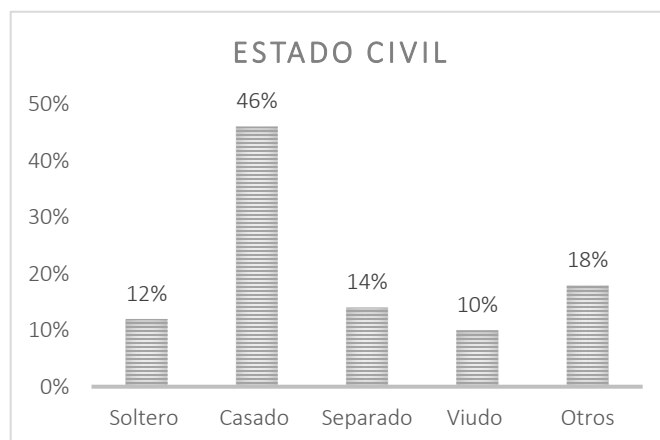
Grafica 2
Género del encuestado



Fuente: Quispe, Mamani, Cano, Tuesta (2019)

Analizando el género del contribuyente, del total de encuestados, el 52% (163 personas) son masculino, los mismos que se identificaron como dueños de los predios en las que se encuentran y el 48% (148 personas) de la población contribuyente son Mujeres (Ver grafica 2).

Grafica 3
Estado civil del encuestado

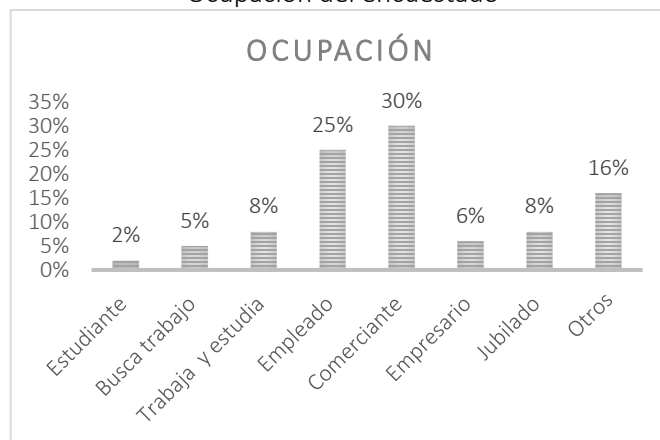


Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Es importante conocer el estado civil del contribuyente, para evidenciar las responsabilidades que estas asumen en el proceso de desarrollo como persona; por lo que, del total de encuestados, el 46% (144 personas) son casados, lo cual podrían contribuir al pago del impuesto; 14% (56 personas) son separadas y dependen económicamente de una fuente de trabajo para su subsistencia y generación de ingresos; el 12% (37 personas) son solteros; el 10% (31 personas) son viudos (Ver grafica 3). Por lo que se puede evidenciar que las responsabilidades que asumen al formar una familia son determinantes para la

contribución y otras; toda vez que la conformación de familias nuevas demandas gastos económicos sobre ellas.

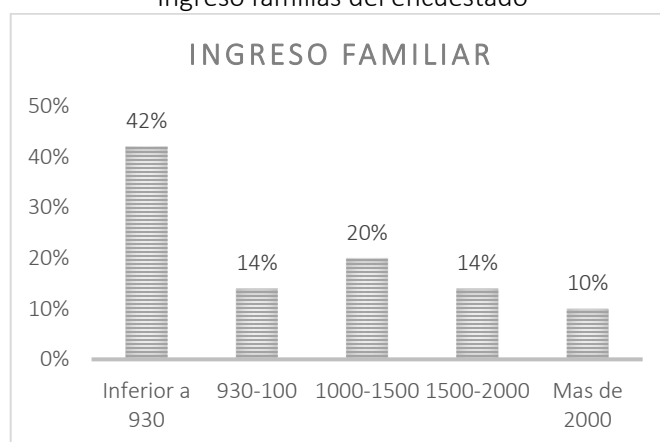
Grafica 4
Ocupación del encuestado



Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

La zona de estudio se caracteriza por ser de desarrollo comercial y de servicios, donde se dedican a la venta de artículos de primera necesidad, tecnología, vestimentas, útiles de escritorio, entre otras; lo que se convierte en la fuente principal de generación de ingresos económicos. Del cual, el 30% (94 personas) son comerciantes; el 25% (76 personas) son empleados; el 8% (25 personas) trabajan y estudian, el otro 8% (24 personas) son jubilados; un 6% (20 personas) son empresarios; el 5% (16 personas) están en búsqueda de trabajo; el 2% son estudiantes que cuentan un terreno; el 16% son personas que se dedican a diferentes rubros (Ver grafica 4).

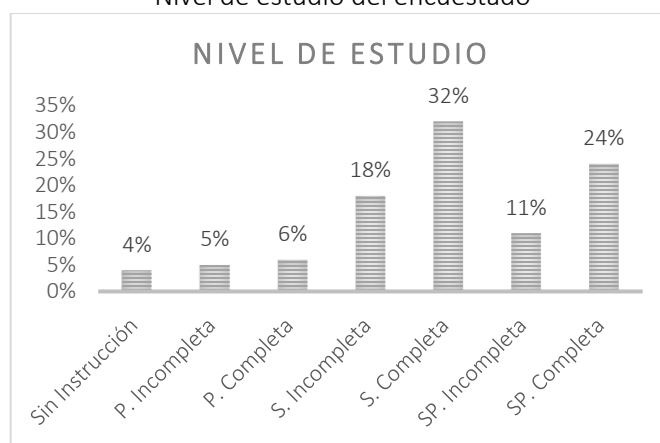
Grafica 5
Ingreso familias del encuestado



Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

El desarrollo de las actividades económicas a la cual se dedica la población del ámbito de estudio, descrito en el párrafo anterior tiene como consecuencia la generación de ingresos económico que en muchos de los casos es considerable. Por lo que al analizar el ingreso familiar del encuestado, el 42% de la población encuestada tiene ingresos menores a 930 soles, que es el salario mínimo vital (61 personas); el 20% de los propietarios de los predio cuentan con un ingreso entre 1,000.00 a 1,500.00 soles (61 personas); el 14% del barrio cuenta con ingresos entre 930.00 a 1,000.00 soles (44 personas); 14% de los propietarios cuentan con un ingreso entre 1,500.00 a 2,000.00 soles y 10% de los propietarios cuentan con un ingreso superior a 2,000.00 soles (Ver grafica 5).

Grafica 6
Nivel de estudio del encuestado

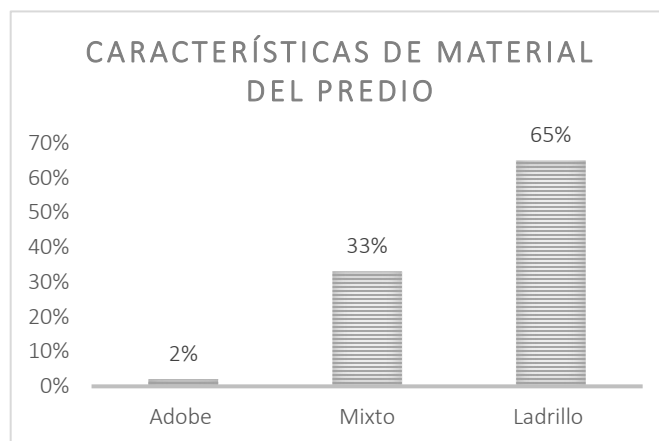


Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

De acuerdo a las características profesionales de la región de Puno, considerando las zonas urbanas, la ciudad de Puno también es representativa en este aspecto, por lo que, del total de población encuestada, el 32% (98 personas) poseen estudios hasta secundaria completa; el 24% (74 personas) poseen estudios superiores completados; el 18% (57 personas) poseen estudios secundarios incompletos; el 11% (35 personas) poseen estudios superiores pero incompletos; el 6% (20 personas) poseen estudios de primaria completada hasta la actualidad; el 5% (15 personas) poseen primaria incompleta y el 4% (12 personas) no poseen estudios de ninguna índole.

Motivo por el cual es que se evidencia el tipo de actividad que estas desarrollan en su vida diaria para la generación de ingresos económicos (Ver grafica 6). Por lo cual, contrastando con el tipo de actividad que desempeñan y la cantidad de ingreso que genera, se determina que es coherente, ya que la principal actividad en el ámbito de estudio es el comercio y los servicios.

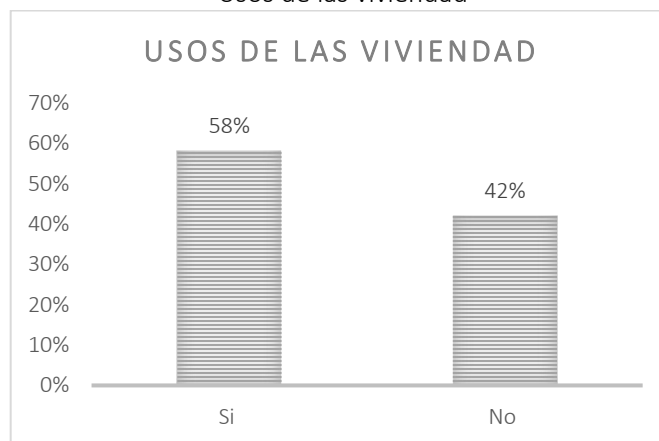
Grafica 7
Características de material del predio



Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

A nivel de la ciudad de Puno, que forma parte de las ciudad que están en proceso de consolidación en el desarrollo económico y social, es importante el medio construido, la misma que representa su idiosincrasia de su población, representada por las edificaciones en sus viviendas, y en este caso es típico a las zonas alto andinas del Perú y Latinoamérica; es por lo cual, que del total de encuestas aplicadas, el 65% (202 viviendas) fueron construidas a base de ladrillo; el 2% (7 viviendas) fueron construidas a base de adobe y el 33% (102 viviendas) están construidas con la combinación de ambos materiales (Ver grafica 7).

Grafica 8
Usos de las vivienda

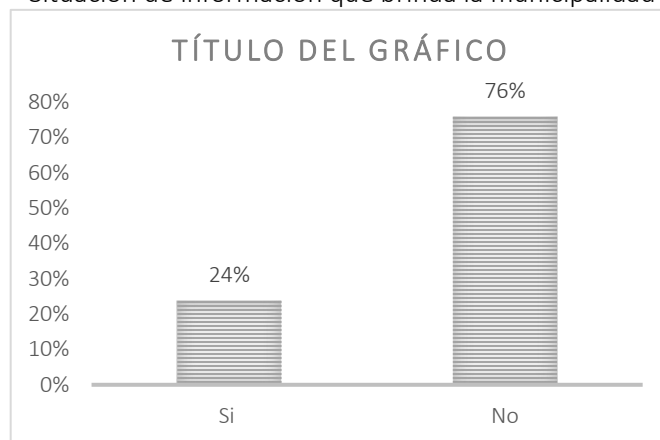


Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Es importante considerar que la mayoría de las viviendas ubicadas en la zona de estudio tiene una particularidad que es la orientación que tiene respecto al desarrollo, por ende del total de encuestas aplicadas, el 58% (180 viviendas) son utilizados para el alquiler o renta para la venta de sus

productos o utilización para servicios; la mayoría fue para la apertura de un negocio y el 42% (131 viviendas) no fueron alquiladas, es más son usados por los propios dueños (Ver grafica 8).

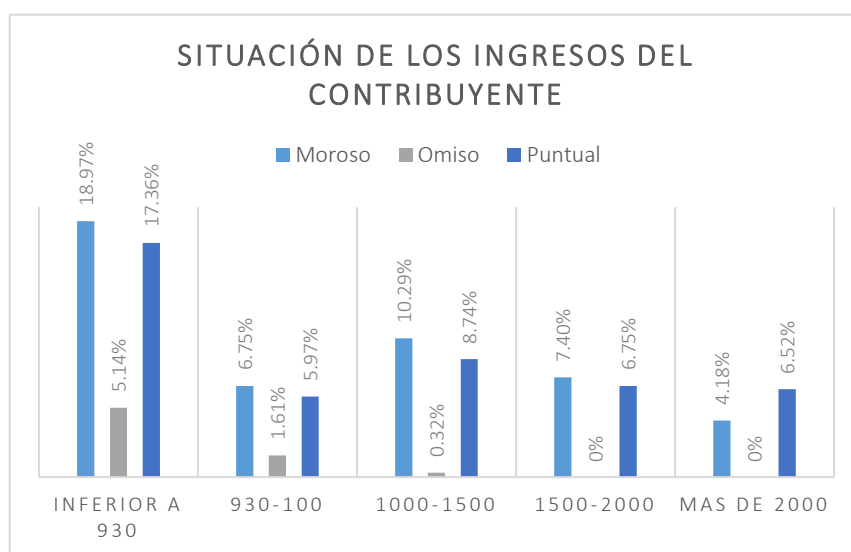
Grafica 9
Situación de información que brinda la municipalidad



Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Luego de conocer las características tipológicas del ámbito de estudio, y centrándonos en el tema de análisis, al realizar la consulta sobre si percibieron alguna vez información por parte de la municipalidad en temas de contribución tributaria, el 76% (237 personas) indicaron que no recibieron información de la municipalidad provincial de Puno acerca de los predios y esta deber superado si es que se desea mejorar el escenario actual (Ver grafica 9).

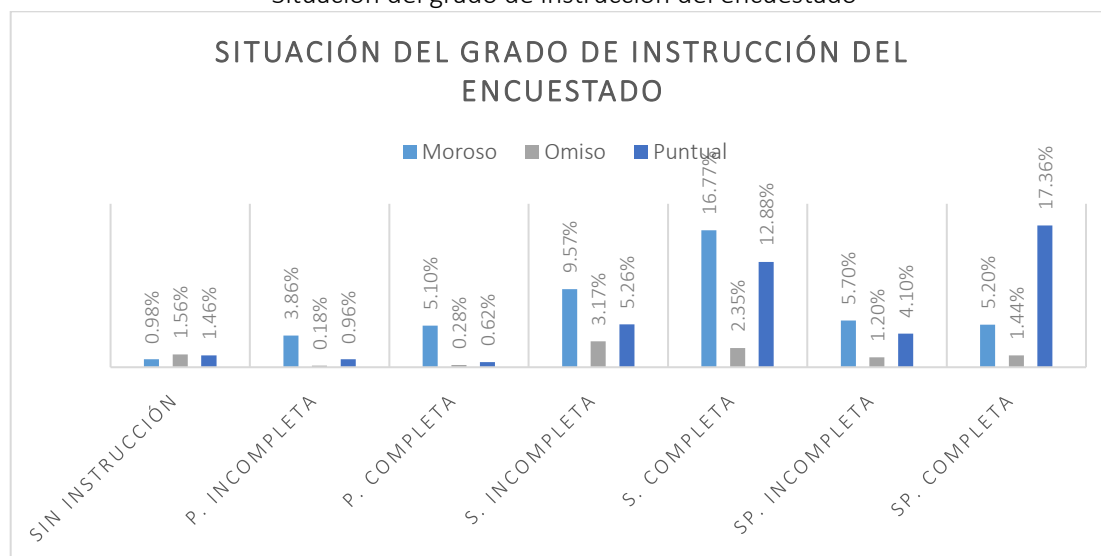
Grafica 10
Situación de los ingresos del contribuyente



Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Por lo cual, realizando el contraste del nivel de ingreso percibido con el cumplimiento de las obligación de pago de impuesto predial, del total de encuestados, el 19% indican que son parte de las personas morosas, esto justificado al ingreso que poseen que es menor al salario mínimo vital; mientras que el 17% son personas indican que si realizan sus pagos puntualmente de sus impuestos, a pesar de tener un ingreso inferior al salario mínimo vital; evidenciando las dos caras de la moneda, donde por un lado existe la predisposición de poder contribuir, pero a causa de factores que son parte de su vida diaria como el escaso ingreso generado o la carencia de mayor información de los beneficios que estas podrían traer las ventajas que puede generar la contribución a tiempo adecuado (Ver grafica 10).

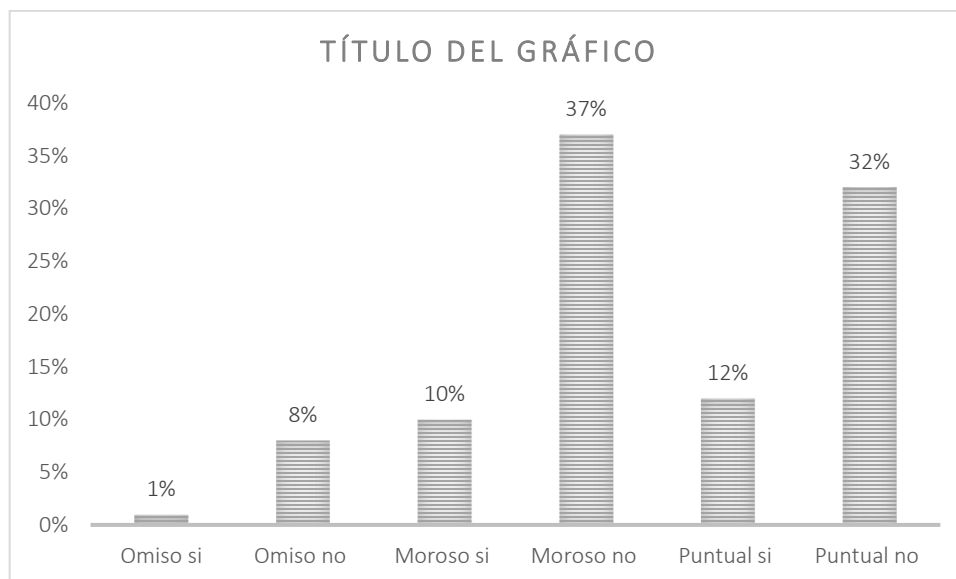
Grafica 11
Situación del grado de instrucción del encuestado



Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Como anteriormente se indicó, la mayor parte de la población analizada se concentra entre la edad con formación educacional de nivel secundaria y parte de eso superior, se puede evidenciar el tipo de actividad desarrollada por estas, orientada netamente al comercio o a la prestación de servicio; por lo cual, contrastado esto por la cantidad de ingreso generado y el tiempo demandado para el pago del impuesto predial; además, el 16.77% de la población encuestada es morosa, a pesar de tener estudios hasta secundaria completa y el otro lado, 17% de las personas con estudios superiores completos, contribuyen al pago de los impuestos en el tiempo previsto (Ver grafica 11).

Grafica 12
Situación de información del contribuyente

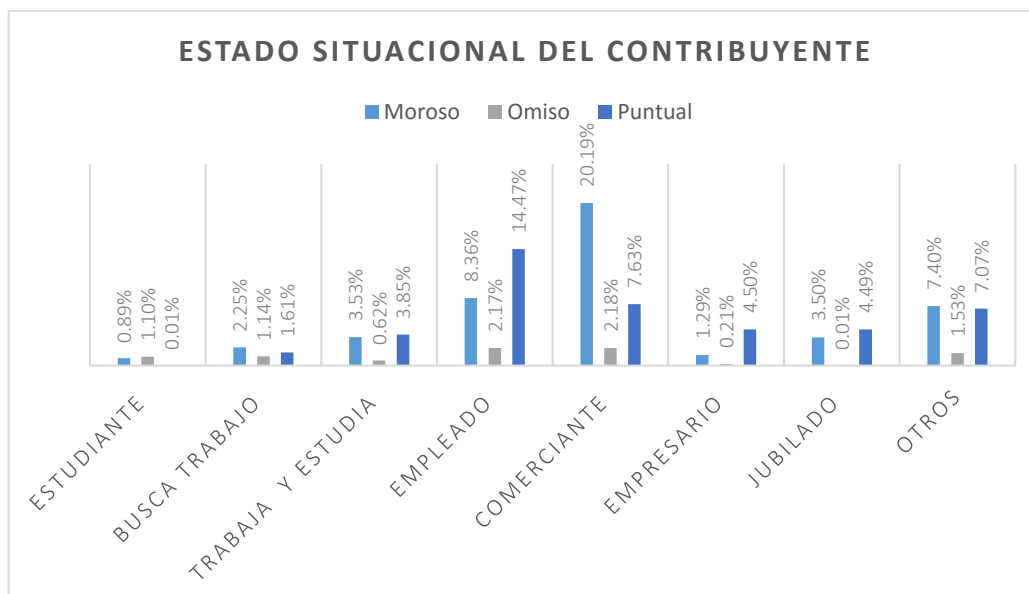


Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Por lo tanto, las personas encuestadas, considerando su nivel de formación educacional y de acuerdo al nivel de ingreso que generan, se puede determinar que el 37% de la población son morosos y no recibieron alguna información por parte de la municipalidad Provincial de Puno acerca del pago del impuesto predial; el 32% son personas que pagan a tiempo sus impuestos pero no recibieron alguna información acerca de los impuestos; el 12% son personas que si pagan sus impuestos a tiempo y si recibieron alguna información.

Además, el 10% son personas morosas, pero que si recibieron alguna información acerca del impuesto predial; el 8% son personas que no contribuyen y tampoco recibieron alguna orientación acerca de estos impuestos y el 1% son personas que no contribuyen, pero si fueron informadas; de ahí es que se presume que es importante el tema de difusión y de brindar información sobre las obligaciones que tiene el usuario para el pago de sus impuestos prediales, las ventajas y desventajas que esta puede generar el beneficio colectivo e individual (Ver grafica 12).

Grafica 13
Estado situacional del contribuyente



Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Finalmente, la información del incumplimiento del impuesto predial con el estado contrastado con el tipo de ocupación, se puede determinar que 20% de las personas que son comerciantes son morosos o pagan tarde sus impuestos, quizá justificado por el tipo de productos que ofertan, en donde lo que se genera como ingreso solo es para cubrir los gastos familiares y de subsistencia; el 14% son personas que cuentan con un trabajo o son parte de una institución pública o privada y que perciben un salario mensual si pagan puntualmente sus impuestos, evidenciando la importancia del empleo para la generación de ingresos económicos y para el cumplimiento con los deberes con el estado a través de las municipalidades (Ver grafica 13).

Análisis regresional del modelo Logit - Probit

Luego de analizar de manera descriptiva las variables de importancia en la presente investigación, es necesario realizar la explicación de estas a través de un modelo logit-probit, ya que esta permite explicar el comportamiento de las variables que influyen en la no contribución del impuesto predial.

Modelo LOGIT

$$\text{prob}[Y = 1] = F(X'_i \alpha) = \frac{e^{X'_i \alpha}}{1 + e^{X'_i \alpha}}$$

$$\text{prob}[PAGO = 1] = F(X'_i\beta)$$

$$= \frac{e^{\alpha_0 + \alpha_1 \text{ESTADOCIVIL} + \alpha_2 \text{INFORMACION} + \alpha_3 \text{INGRESO} + \alpha_4 \text{INSTRUCCION} + \alpha_5 \text{MATERIAL} + \alpha_6 \text{MFAMILIA} + \alpha_7 \text{NPREDIOS} + \alpha_8 \text{OCUPACION}}}{1 + e^{\alpha_0 + \alpha_1 \text{ESTADOCIVIL} + \alpha_2 \text{INFORMACION} + \alpha_3 \text{INGRESO} + \alpha_4 \text{INSTRUCCION} + \alpha_5 \text{MATERIAL} + \alpha_6 \text{MFAMILIA} + \alpha_7 \text{NPREDIOS} + \alpha_8 \text{OCUPACION}}}$$

En este sentido, los resultados obtenidos en el modelo econométrico logit-probit, ayudo a identificar cual modelo es óptimo para la explicación de las variables estudiadas, esto nos permite interpretar la prueba de hipótesis, en donde estos resultados tienen un nivel de significancia de 5%, trabajando a un nivel de confianza del 95%. Donde estas variables tienen una influencia significativa sobre la variable explicada (Ver tabla 2).

Tabla 2
Resumen de regresión con todas las variables

Variable	MODELO LOGIT		MODELO PROBIT	
	Coeficiente	Prob.	Coeficiente	Prob.
C	-2.689733	0.0475	-1.505974	0.0496
ESTADOCIVIL	0.681448	0.3240	0.305790	0.3969
INFORMACION	0.245174	0.6911	0.132687	0.6615
INGRESO	0.534118	0.0242	0.265490	0.0209
INSTRUCCION	2.647071	0.0002	1.443850	0.0004
MATERIAL	-0.555142	0.0203	-0.265055	0.0263
MFAMILIA	-0.065330	0.8006	-0.034549	0.7952
NPREDIOS	-0.133881	0.6435	-0.072873	0.6068
OCUPACION	2.554099	0.0140	1.497812	0.0120
R-SQUARED	0.203224		0.200384	
AKAIKE	0.528151		0.529828	
SCHWARZ	0.636377		0.638053	
LOG LIKELIHOOD	-73.12755		-73.38820	

Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Por lo cual, luego del planteamiento del modelo, regresionando con ambos modelos logit-probit, se determinó que el modelo que mejor explica las variables en análisis es el modelo LOGIT, ya que las pruebas estadísticas basadas en la función de verosimilitud como log likelihood, araike, Schwarz y el R-squard MacFadden señalan a dicho modelo (Ver tabla 2).

Considerando el análisis, incluyendo las variables más representativas del modelo, según las estimaciones son el ingreso, grado de instrucción, material del predio y la ocupación del propietario del predio. Analizando los signos, se puede evidenciar que los ingresos, educación y la ocupación tienen una relación positiva con el incumplimiento del impuesto predial, ya que, a mayores niveles de ingreso, mayor educación y tener un buen trabajo, la probabilidad de que estos puedan aportar es mayor (Ver Tabla 2).

Tabla 2
Resumen de efectos marginales todas las variables

Marginal effects after logit y = Pr(pago) (predict) = .97989884							
variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]		X
estado~l*	.0174794	.02248	0.78	0.437	-.026585	.061544	.881029
inform~n*	.0045502	.01073	0.42	0.671	-.016478	.025578	.237942
ingreso	.0105206	.00433	2.43	0.015	.002034	.019008	2.37942
instru~n*	.1890393	.10767	1.76	0.079	-.021987	.400065	.961415
material	-.0109347	.00472	-2.32	0.020	-.020183	-.001686	1.67846
mfamilia	-.0012868	.00511	-0.25	0.801	-.011307	.008734	3.75884
npredios	-.0026371	.00565	-0.47	0.640	-.013704	.00843	1.62379
ocupac~n*	.1803985	.16298	1.11	0.268	-.139044	.499841	.977492

Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

En este sentido, el efecto marginal sobre el grado de instrucción, estado civil, la información acerca de los predios, ingreso y la ocupación esto implica que, ante un incremento de una persona en la mejora del grado de instrucción, estado civil, la información acerca de los predios, ingreso y la ocupación en un punto significativo sobre estas variables, su probabilidad de aportaciones será de 0.18%, 0.017%, 0.004%, 0.10% y 0.18%, respectivamente (Ver tabla 3).

El efecto marginal sobre el material de la vivienda, miembros de la familia y número de predios, ante un incremento de un punto significativo, la probabilidad de que estos no aporten es de 0.01%, 0.001% y 0.002%, respectivamente (Ver tabla 3).

Tabla 4
Resumen de regresión con variables significativas

Variable	MODELO LOGIT		MODELO PROBIT	
	Coeficiente	Prob.	Coeficiente	Prob.
C	-2.962809	0.0127	-1.668819	0.0150
INGRESO	0.483761	0.0166	0.243293	0.0126
INSTRUCCION	2.579118	0.0002	1.416725	0.0005
MATERIAL	-0.530266	0.0224	-0.252070	0.0302
OCUPACION	3.137292	0.0003	1.760702	0.0006
R-SQUARED	0.195641		0.193326	
AKAIKE	0.506903		0.508270	
SCHWARZ	0.567029		0.568396	
LOG LIKELIHOOD	-73.82348		-74.03603	

Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Por otro lado, realizando el análisis del modelo, pero considerando solo las variables significativas, permitió evidenciar una mejora en la estimación y un mayor análisis de estos. Del cual, el modelo que más se adapta con los estimadores más significativos, es el modelo logit, ya que los indicadores como el R-Squared, Akaike, Schwarz y el Log Likelihood definen

que este modelo es el más apto para el estudio, es decir es el modelo ganador (Ver tabla 4).

Tabla 3:
Resumen de efectos marginales variables significativas

Marginal effects after logit							
y = Pr(pago) (predict)							
= .9450344							
variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]
ingreso	.0251287	.0095	2.65	0.008	.00651	.043747	2.37942
instru~n*	.3597516	.15661	2.30	0.022	.052797	.666707	.961415
material	-.0275443	.01189	-2.32	0.021	-.050853	-.004236	1.67846
ocupac~n*	.5039028	.2047	2.46	0.014	.102707	.905099	.977492

Fuente: Quispe, Mamani, Cano & Tuesta (2019)

Analizando los efectos marginales de las variables en análisis, que explican el comportamiento del pago o no del impuesto predial, el nivel de ingreso familiar, grado de instrucción del dueño del predio y la ocupación del propietario del predio son que, ante un incremento de una persona en la mejora de las variables mencionadas, la probabilidad de que aporte en el pago del impuesto predial es de 0.02%, 0.35% 0.5% (Ver tabla 5), por lo que se concluye que tiene un impacto positivo sobre el incumplimiento del impuesto predial. El efecto marginal del tipo de material del predio de la vivienda es ante un aumento de que una persona mejore su predio, la probabilidad de que este ya no contribuya es de 0.03% (Ver tabla 5), por lo que se concluye que tiene un impacto negativo sobre el incumplimiento del impuesto predial.

Por lo cual, de los resultados obtenidos, se priorizan dos puntos centrales de discusión. El primero, referente a la identificación de los factores que contribuyen al incumplimiento de los pagos en el impuesto predial del barrio Bellavista de la ciudad de Puno; el segundo, de analizar el tipo de impacto que tienen los factores que contribuyen al incumplimiento de los pagos en el impuesto predial.

De acuerdo con los resultados de la investigación, el impacto de la variable nivel de ingreso familiar, grado de instrucción del dueño del predio y la ocupación del propietario es positiva respecto al pago del impuesto predial y además son significativas, en cambio las variables estado civil, información que brinda la municipalidad, número de miembros de la familia y la cantidad de predios que poseen, también tiene una relación positiva, pero no son significativas en el modelo. Por otra parte, la variable tipo de material del predio, es la única que tiene un impacto negativo respecto al pago del impuesto predial y es significativo (Ibarra & Sotres, 2009).

Por lo tanto, si tomamos un nivel de significancia del 5% sería posible poder obtener otras variables que puedan explicar con mayor énfasis el comportamiento que tienen en la

variable explicada. Según los trabajos estudiados para la realización de este trabajo, se tendría que ver desde los dos ámbitos, ya sea del contribuyente y de la municipalidad, para un mayor análisis y mejores resultados (Ponce & Indira, 2016).

Este trabajo nos muestra que la información que brinde la municipalidad no es significativa, contradiciendo a Guzmán & Wilber (2012), ya que menciona que la información acerca del impuesto ayudase a tomar mejor las decisiones de los contribuyentes. Por otra parte, los resultados hallados se sustentan en base a lo que mencionan Pérez (2008) y Rojas (2006).

Conclusiones

Los factores que contribuyen al incumplimiento de los pagos en el impuesto predial son el nivel de ingreso familiar, grado de instrucción del dueño del predio, ocupación del propietario y el tipo de material del predio, en el barrio Bellavista.

Además, el tipo de impacto que tiene el nivel de ingreso familiar, grado de instrucción del dueño del predio y la ocupación del propietario es positiva respecto al pago del impuesto predial y además son significativas; en cambio la variable tipo de material del predio, es la única que tiene un impacto negativo y es significativo.

Por lo que, considerando a la teoría de los impuestos, que hace énfasis en que las municipalidades no llevan un adecuado sistema de cobros de este impuesto, ni tienen la suficiente tecnología o sea que no invierten en la mejora del plantel o equipo se determina que es correcto.

El ingreso de los contribuyentes es el principal impedimento para la no contribución y ante una política mal empleada los ingresos de los contribuyentes pueden verse afectado, por lo que en un futuro la no contribución podría aumentar.

Con los resultados alcanzados, podemos indicar que la información al contribuyente no es significativa para el modelo, además es un factor controlado por la Municipalidad de Puno, es decir que, ante un descuido sobre esta variable, esta ocasionaría un problema en los ingresos de la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aignerren, M. (2002). La técnica de recolección de información mediante grupos focales. *La Sociología en sus escenarios*, (6).

Alata, D. (2016). *Factores que influyen en la recaudación del impuesto predial en la municipalidad provincial de Puno—período 2012* (Doctoral dissertation, Tesis de Pregrado de Universidad Nacional del Altiplano. Sitio web: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3014/Alata_Tisnado_Del_ssy_Vanessa.pdf).

- Bermedo, O. A. A., Quintanilla, A. D. P. T., & Vargas, C. F. W. (2013). El impuesto predial y su impacto en las finanzas públicas. *THEMIS: Revista de Derecho*, (64), 157-172.
- Bocanegra, S., & Jassenia, S. (2018). Factores socioeconómicos y su influencia en la recaudación del impuesto predial en el distrito de San Martín, El Dorado 2018.
- Corbacho, A., Fretes Cibils, V., & Lora, E. (2013). Recaudar no basta: los impuestos como instrumento de desarrollo. *Desarrollo en las Américas (DIA)*(Departamento de Investigación y Economista Jefe); IDB-AR-103.
- De Cesare, C. M. (Ed.). (2016). *Sistemas del impuesto predial: en América Latina y el Caribe*. Lincoln Institute of Land Policy.
- Di John, J. (2006). *The political economy of taxation and tax reform in developing countries* (No. 2006/74). Research Paper, UNU-WIDER, United Nations University (UNU).
- Flores Lujano, K. K. (2016). Determinación de la evasión tributaria y su incidencia en la recaudación del impuesto predial en la Municipalidad provincial de Puno periodos 2013, 2014 y 2015.
- Gallardo, L. M. M. G., & Buleje, J. C. M. (2008). La difusión de la cultura tributaria y su influencia en el sistema educativo peruano. *Investigación educativa*, 12(21), 143-153.
- Gutiérrez, M. U., & Jaimes, C. M. (2015). La recaudación del impuesto predial en México: un análisis de sus determinantes económicos en el período 1969-2010. *Revista mexicana de ciencias políticas y sociales*, 60(225), 45-77.
- Guzmán, S., & Wilber, E. A. (2012). Mejoramiento de la recaudación del impuesto predial mediante la implantación del SIAF-Rentas-GL en la gerencia de rentas de la municipal provincial de Satipo.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (Vol. 3). México: McGraw-Hill.

- Ibarra Salazar, J., & Sotres Cervantes, L. (2009). Determinantes de la recaudación del impuesto predial en Tamaulipas: Instituciones y zona frontera norte. *Frontera norte*, 21(42), 165-192.
- Iregui, A. M., Melo, L., & Ramos, J. (2005). El impuesto predial en Colombia: factores explicativos del recaudo. *Revista de Economía del Rosario*, 8(1), 25-58.
- Jaquenhua, H., & Vanessa, E. (2018). Factores determinantes en la recaudación del impuesto predial de la Municipalidad Provincial de Tambopata periodo 2016.
- Mantilla Villar, S., & De La Cruz Vásquez, J. (2019). La fiscalización tributaria y su incidencia en la recaudación del impuesto predial en la municipalidad distrital de Mala, Enero-Junio 2018.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232.
- Pérez, A. (2008). La economía, un factor que influye en la morosidad del impuesto predial. *Perú: Ministerio de economía y finanzas. Rojas*, (2006).
- Pino, F. A. (2007). Modelos de decisão binários: uma revisão. *Rev. de Economia Agrícola, São Paulo*, 54(1), 43-57.
- Ponce, M., & Indira, D. (2016). La recaudación del impuesto predial y las finanzas de la municipalidad distrital de Santa María del Valle en el período 2015.
- Quino, C., & Xiomara, X. (2018). Alcances de la cultura tributaria en el cumplimiento de las obligaciones de los contribuyentes de las empresas textiles de Lima Metropolitana.
- Quispe Tintaya, Y. (2015). Análisis de la recaudación tributaria del impuesto predial de la municipalidad provincial de Puno periodo 2013-2014.
- Reátegui, M. A. (2016). Importancia de la cultura tributaria en el Perú. *Revista de Investigación de Contabilidad Accounting power for business*, 1(1).

- Reátegui Ruiz, B. (2006). Determinación de la Eficiencia del sistema integrado de administración financiera (Siaf) en la Municipalidad distrital de San Martín de Alao, provincia de el Dorado, departamento de San Martín.
- Rojas, N. (2006). Propuestas para evitar la morosidad en la recaudación del impuesto predial. *Perú: Ediciones Akal*.
- Silva, J., Páez, P., & Rodríguez, P. (2008). Finanzas publicas territoriales. *Bogotá, Colombia: Escuela Superior de Administración Pública—ESAP*.
- Vilalta, M. (2015). *Autonomía y equidad en la financiación municipal: dos principios compatibles* (Vol. 3). Edicions Universitat Barcelona.

MICROFLUÍDICA COMO PLATAFORMA DE ESTUDIO EN NEUROBIOLOGÍA

MICROFLUIDIC AS A STUDY PLATFORM IN NEUROBIOLOGY

AUTORES: LAURA ROSAS¹, BRUNO A. CISTERNA² & DIEGO REGINENSI^{1,3,4}

¹Programa de Ingeniería Biomédica, Universidad Latina de Panamá, Panamá, República de Panamá. ²Centro de Investigaciones Médicas, Escuela de Medicina, Universidad de Talca, Chile. ³Escuela de Medicina, Universidad de Panamá, Panamá, República de Panamá. ⁴Neurociencias, Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT AIP), Ciudad del Saber, Panamá, República de Panamá.

Correos: diego.reginensi@gmail.com

Recibido: 30 de mayo de 2019

Aceptado: 24 de junio de 2019

Resumen

PALABRAS CLAVE:

Microfluídica, biomimética, enfermedades neurodegenerativas, regeneración axonal.

La microfluídica corresponde a la manipulación de fluidos en canales de decenas de micrómetros y que ha emergido como un nuevo campo en la Ingeniería Biomédica. Esta disciplina tiene el potencial de influir en áreas científicas que van desde la síntesis química hasta la neurobiología aplicada. Esta nueva disciplina ha demostrado ser funcional en experimentos de biomimética, estudios patológicos y diversas aplicaciones dentro del área de la biomedicina, lo cual demuestra que a largo plazo la misma podrá ayudar a la comprensión biológica y el desarrollo de nuevas

tecnologías que puedan ser implementadas para el diagnóstico, prevención y tratamiento de diversas patologías. En esta revisión, se explica la manera en la cual la microfluídica ha sido imprescindible para la comprensión de la fisiología del sistema nervioso, diversas enfermedades neurodegenerativas y la regeneración axonal.



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Abstract**KEYWORDS:**

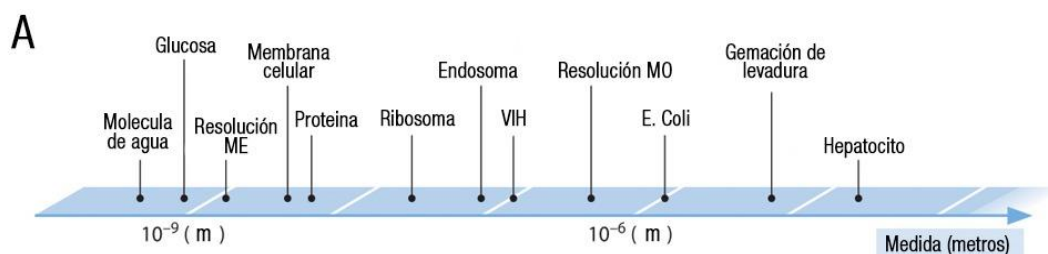
Microfluidics, biomimetics, neurodegenerative diseases, axonal regeneration.

Microfluidics, which refers to the manipulation of fluids throughout channels with dimensions within the range of tens of micrometers, has emerged as a new field in Biomedical Engineering. This discipline has the potential to influence scientific areas that go from chemical synthesis to applied neurobiology; however, this field is still at an early development stage. This new discipline has proved to be functional in experiments regarding biomimetic, pathological researches and diverse applications surrounding the biomedical field, which proves that at a long-term it could be of help for biological comprehension and the development of new technologies that can be applied in the diagnosis, prevention and treatment of multiple pathologies. In this article, the way in which microfluidics has been essential for the comprehension and understanding of the nervous system, multiple neurodegenerative diseases and axonal regeneration, will be explained.

Principios generales de la microfluídica

La microfluídica es la ciencia y tecnología que manipula pequeñas cantidades de fluidos (10^{-9} a 10^{-6} l) usando canales con dimensiones del orden de los micrómetros (Whitesides, 2006), lo cual equivale al tamaño de diversos microorganismos como bacterias o incluso las dimensiones de moléculas orgánicas como algunas proteínas (Wong et al., 2013) (*Figura 1A*).

Figura 1 A
Conceptos básicos de microfluídica



Conceptos básicos de microfluídica. (A) Esquema de dimensiones de diversas estructuras moleculares, macromoleculares, subcelulares y celulares

Fuente: Rosas, Cisterna & Reginensi (2019)

Para lograr comprender el funcionamiento de los microfluidos, es necesario comprender previamente cómo funciona la física de éstos, por lo cual previamente a las aplicaciones, se explicarán diversos principios de los mismos, empezando por sus principios físicos. La dinámica de fluidos en los sistemas de microfluidos se describe por la ecuación de Navier-Stokes:

$$\rho \left(\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla V) \right) = \nabla P + \rho g + \mu \nabla^2 V$$

donde V la velocidad experimentada por el fluido, ρ es la densidad del fluido, g es la gravedad que actúa sobre el fluido, P la presión del fluido y μ es la viscosidad cinética del fluido (Squires and Quake, 2005). De su forma adimensional se obtiene el número de Reynolds definido:

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

donde V es la velocidad característica del flujo, L es la longitud característica de la geometría, ρ es la densidad del fluido y μ es la viscosidad dinámica del fluido (Zhang et al., 2016). El número de Reynolds (Re) define si un fluido tiene un flujo en régimen laminar o turbulento, es decir, si fluye en una trayectoria uniforme o desordenadamente. En base a ello, $Re < 2300$, generalmente indica un flujo laminar, que es el que tienen los microfluidos, debido al tamaño pequeño de los microcanales. El mismo es una condición en la cual la velocidad de una partícula en una corriente de fluido no es una función aleatoria en el tiempo, de este modo, uniendo dos fluidos no podrían mezclarse fácilmente a través de las turbulencias, por lo que la difusión simple interviene en la mezcla de fluidos (Sharp et al., 2002). A causa de esto, la difusión juega un papel de gran envergadura en los microfluidos. La misma puede ocurrir de manera pasiva, en la cual no participan otros agentes aparte de los fluidos, y se realiza mediante el incremento del contacto de los microfluidos con diversas aperturas, o de manera activa, en la que factores externos influyen en la mezcla del fluido, tales como ondas acústicas, campos magnéticos, cambios de presión o de temperatura, entre otros (Elveflow, 2018).

Un aspecto de suma importancia dentro de los microfluidos es que la relación de superficie de área por volumen es muy alta, por lo que cualquier reacción química en un microfluído se ve muy acelerada. Un ejemplo de esto, es la electroforesis capilar que consiste en una técnica para separar iones con respecto a su movilidad electroforética basado en la aplicación de diferencia de potencial eléctrico (Sekhon, 2011), la cual se vuelve más eficiente en canales microfluídicos ya que se remueve el exceso de calor de manera más rápida. Este aspecto de todos modos tiene sus desventajas al momento de trabajar con flujo electrocinético al transportar fluidos (Manz et al., 1994), ya que la relación de superficie de área por volumen al ser tan alta, permite que las macromoléculas se difundan de manera rápida y se adsorban en la superficie de los canales, reduciendo de esta manera la eficiencia del proceso bombeo (Locascio et al., 1999). También destaca, la tensión superficial que es el resultado de la cohesión entre moléculas líquidas en la interfaz de gas/líquido, la misma es la que permite que los mosquitos sean capaces de flotar en el agua, ya que los objetos pequeños con masas pequeñas no son capaces de ejercer fuerza suficiente para romper esta tensión superficial. En los microfluidos, la tensión superficial hace que las fuerzas capilares sean realmente altas y difíciles de superar, lo cual permite

que se lleven a cabo técnicas de bombeo capilar (Squires and Quake, 2005).

Por último, otro aspecto de gran importancia es la resistencia fluídica, que en los microfluidos está definida por diversas ecuaciones. Empezando por la tasa de flujo, que se calcula mediante la ecuación $Q = \Delta P/R$, donde Q equivale a la tasa de flujo, ΔP es el cambio de presión a través del canal y R es la resistencia del canal. La geometría más común de canales microfluídicos, es la circular. La fórmula de la resistencia fluídica viene dada por:

$$R = \frac{8 \mu L}{\pi r^4}$$

Donde μ es la viscosidad del fluido, L es el largo del canal, y r es el radio del mismo. La resistencia de los canales varía de acuerdo a la forma de los mismos, teniendo diversas fórmulas para canales rectangulares y canales de otras formas geométricas de diferentes radios (Beebe et al., 2002). Este aspecto en particular es de gran ayuda, ya que, al ser usada apropiadamente, la resistencia fluídica puede ser de ayuda para mejorar u optimizar el desempeño de los sistemas de control de fluidos.

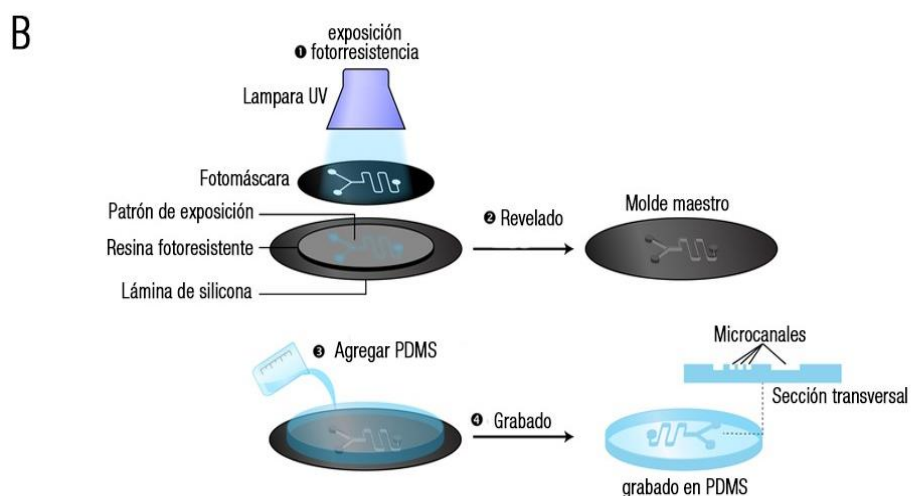
La microfluídica es una herramienta poderosa para crear microambientes específicos (p.e. sistemas compartimentalizados, gradientes de concentración molecular) (Kim et al., 2010). La manipulación, el control preciso y el monitoreo de microambientes celulares usando tecnologías de microfluidos la convierte en una herramienta puntera y de amplio alcance para la investigación biomédica y en concreto en la neurobiología como después explicaremos (Beebe et al., 2002). Además, debido a que el volumen de fluido empleado dentro de estos canales es muy pequeño, la cantidad de reactivos que será empleada también es muy pequeña, lo cual es de mucha utilidad al momento de ahorrar dinero en la compra de reactivos que suelen ser muy caros. Esto también contribuye a la realización de análisis químicos más eficientes ya que como la cantidad de fluido es pequeña, al igual que la cantidad de reactivos, las reacciones químicas se llevarán de manera rápida y segura.

Cabe recalcar, que la microfluídica presenta múltiples ventajas aparte de las previamente mencionadas, las cuales incluyen: transparencia óptica, biocompatibilidad, estabilidad térmica y permeabilidad gaseosa, posibilidad de experimentación en paralelo y mejor biomimesis del ambiente tisular (Wang et al., 2009). El mantenimiento de los dominios neuronales, en particular las funciones axonales, son especialmente cruciales en proyecciones de larga-distancia como las neuronas motoras o neuronas piramidales corticales. Por ello, la correcta comprensión de la dinámica neuronal implica estudiar sus componentes por separado en determinados procesos celulares, de aquí que la aproximación experimental mediante microfluídica sea muy interesante en la neurobiología.

En los última década, se han desarrollado dispositivos de microfluídica para diversas aplicaciones de cultivo celular (Taylor and Jeon, 2011). Estos dispositivos están fabricados de manera precisa y reproducible con características que se encuentran en una escala física

similar a las que se encuentran las células a nivel fisiológico; cabe destacar, que las propiedades fluídicas en la microescala permiten la creación de microentornos precisos, como gradientes de concentración (Lin and Levchenko, 2015; Li Jeon et al., 2002), compartimientos subcelulares fluidicamente aislados (Lin and Levchenko, 2015; Taylor et al., 2005) y sistemas compartimentalizados que imitan el microambiente neuronal (Kim et al., 2014; Taylor and Jeon, 2011). El método más común para fabricar dispositivos de microfluidos para aplicaciones biológicas es mediante la creación de patrones o plantillas a través fotolitografía utilizando la fotoresina epóxica SU-8. El SU-8 se polimeriza cuando se expone a la luz ultravioleta y se puede usar para crear estructuras en el rango de los cientos de micras, que son adecuadas para el cultivo de células. Una vez que se produce la plantilla, se puede usar indefinidamente para replicar, a partir del molde, los dispositivos microfluídicos usando poli (dimetilsiloxano) (PDMS), un polímero biocompatible y ópticamente transparente. Este proceso, llamado litografía suave, es rentable y puede realizarse en cualquier entorno de laboratorio tradicional (Halldorsson et al., 2015; Whitesides et al., 2001) (*Figura 1B*).

Figura 1 B



Conceptos básicos de microfluídica. (B) Esquema del proceso de microfabricación de sistemas compartimentalizados basado en microfluídica.

Fuente: Rosas, Cisterna & Reginensi (2019)

La interconexión entre la ingeniería y diversas metodologías biológicas permiten el diseño de sistemas basados en propiedades microfluídicas para lograr mimetizar el microambiente de los procesos neuronales mediante un control espacio-temporal en el orden de la micro/nanoescala (Millet and Gillette, 2012b; Millet and Gillette, 2012a). El entendimiento del comportamiento fisiológico de las neuronas y cómo trabajan en el sistema nervioso central es crítico para la comprensión de diversas neuropatologías.

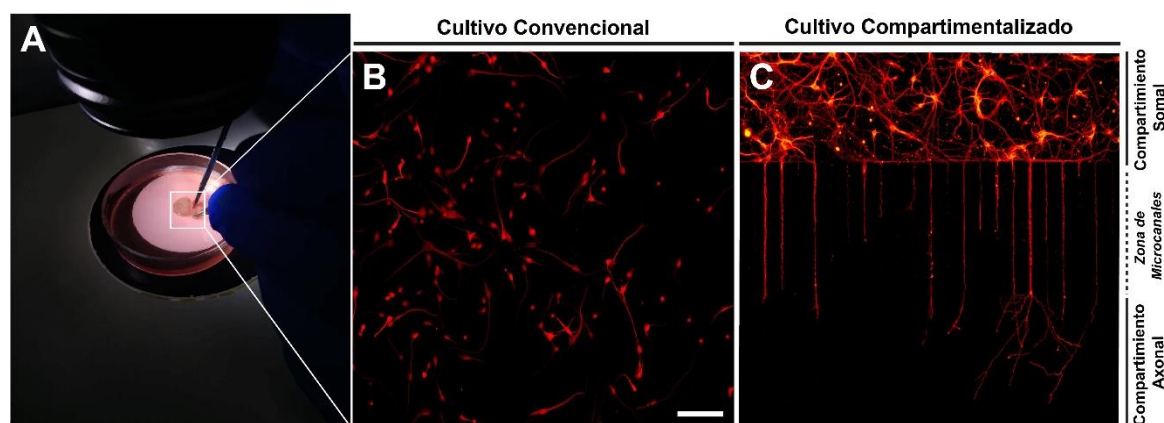
Aplicación de la Microfluídica en la Neurobiología

Las neuronas son células altamente complejas que presentan características electroquímicas y estructurales detalladas que configuran su función. El soma celular, dónde se sitúa el núcleo de la célula, extiende los axones alcanzando diferentes dianas celulares con características químicas y físicas distintas (Millet and Gillette, 2012a). La comprensión de cómo las señales moleculares y físicas modulan la dinámica de las células neuronales es una tarea difícil debido a la dificultad de reproducir in vitro el microentorno neural en qué se desarrollan in vivo. Las neuronas se comunican concretamente a través de las sinapsis. Éstas son aproximaciones plasmáticas muy especializadas con una elevada concentración de complejos proteicos y canales que permiten la comunicación química mediante neurotransmisores (aunque existe también un bajo porcentaje de neurotransmisión eléctrica) (Kandel E.; 2012). La mayoría de las sinapsis son uniones entre neuronas, sin embargo, las motoneuronas son neuronas periféricas especializadas que inervan unidades motoras musculares y presentan una disposición espacial inusual en la que sus estructuras subcelulares están expuestas a microambientes extracelulares muy concretos y diferentes a los de los otros tipos neuronales. Por un lado, el soma de la motoneurona está ubicado centralmente dentro de la médula espinal rodeada por células gliales, mientras que su terminal axonal se encuentra en la periferia en contacto directo con el tejido muscular, formando la unión neuromuscular, una estructura altamente especializada responsable de la transmisión de señales y la contracción muscular (Southam et al., 2013). Esta señalización neuromuscular es una comunicación bidireccional que involucra una señalización electroquímica anterógrada, que produce contracción muscular y una señalización neurotrófica retrógrada de soporte neuronal. Por lo tanto, la supervivencia y la función de las motoneuronas y el tejido muscular inervado son altamente dependientes entre sí (Zahavi et al., 2015; Park et al., 2013). Sin embargo, se desconoce el o los responsables moleculares de dicha dependencia (Cisterna et al., 2014). La interdependencia motoneurona-miofibra esquelética queda en evidencia al suspender el suministro nerviosos (ya sea por denervación o disfunción de motoneuronas espinales) y observar rápidamente el desarrollo de atrofia muscular (Cisterna et al., 2016; Cea et al., 2013; Southam et al., 2013).

La rápida conducción del impulso nervioso en la comunicación del sistema nervioso se logra mediante el aislamiento de los axones a través de la formación de mielina. Las vainas de mielina son formadas por los oligodendrocitos en el sistema nervioso central (SNC) y por las células de Schwann en el sistema nervioso periférico (SNP). En el SNC, los oligodendrocitos extienden sus procesos, se alinean y son capaces de envolver ciertos axones (Baumann and Pham-Dinh, 2001). A pesar de su gran importancia, por mucho tiempo las señales moleculares que regulaban la formación y maduración sináptica, como también la comprensión de las señales moleculares en la mielinización se presentaron como procesos moleculares desconocidos (Chen and Nedivi, 2010; Nave and Salzer, 2006).

Asimismo, los co-cultivos mixtos de neuronas y glías convencionales no son precisos en determinar, de manera óptima, la función glial en el proceso sináptico, como también en la mielinización. Por lo tanto, es como las plataformas de microfluidos permiten la generación de sistemas compartimentalizados y aproximaciones experimentales más concretas, compuestas por diferentes compartimentos tanto para los cuerpos celulares, como también para los axones y las células gliales (Park et al., 2012). Así, los diversos dispositivos compartimentalizados, basados en microfluídica, se encuentran separados por pequeños microcanales que permiten el aislamiento fluídico entre los compartimentos somal y axo-glial. Este enfoque permite organizar el cultivo neuronal de manera de imitar la conectividad *in vivo*, lo que permite estudiar estos procesos de manera más fisiológica (Taylor et al., 2010). Las plataformas compartimentalizadas, basadas en microfluidos, tienen por ventaja que permiten la transfección localizada, el tratamiento diferencial de medicamentos y la adición de moléculas específicas o factores tróficos en la zona neuronal o la zona axo-glial, como también proporcionan un control de la distribución espacial del co-cultivo permitiendo la obtención de imágenes dinámicas de contacto sináptico con alta resolución espacial y temporal (Park et al., 2012; Taylor and Jeon, 2011) (**Figura 2**).

Figura 2



Cultivo compartimentalizado. (A) Disección de cerebro de ratón para estudios de cultivo celular; (B) Cultivo primario convencional de neuronas hipocámpicas obtenidas de cerebro de ratón; (C) Cultivo primario de neuronas hipocámpicas en un sistema compartimentalizado; se observa la separación del soma neuronal con respecto a su prolongada extensión axonal. Barra de escala: B-C= 50 μ m.

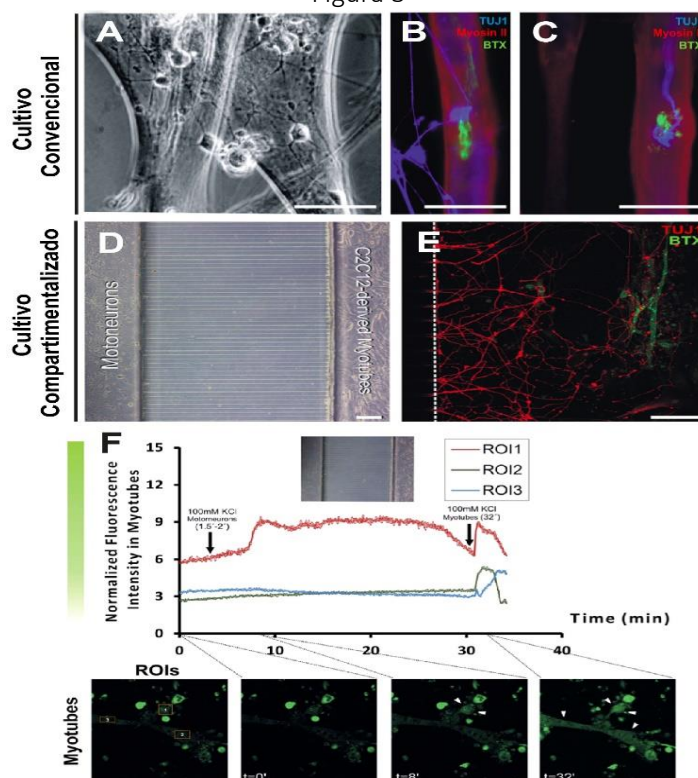
Fuente: Rosas, Cisterna & Reginensi (2019)

Durante la última década, varios estudios han aprovechado la tecnología de microfluidos para comprender mejor los mecanismos que subyacen al comportamiento axonal, como el transporte axonal, la síntesis de proteínas locales y la sinaptogénesis (Deglincerti et al., 2015; Coquinco et al., 2014; Cox et al., 2008; Wu et al., 2005). Los dispositivos microfluídicos han sido de suma importancia para comprender el detalle de los mecanismos que subyacen en el tráfico axonal y el crecimiento axonal (Yi et al., 2015). La traducción local en axones, particularmente en conos de crecimiento, ahora es ampliamente aceptada, y esto se debió principalmente al uso de dispositivos

microfluídicos en estudios que utilizan fracciones axonales aisladas. Por ejemplo, Cox y cols. mediante un sistema de microfluídica compartimentalizado describieron la traducción de ARNm axonal en la regulación de la supervivencia neuronal y la transcripción nuclear provocada por la aplicación axonal de la neurotrofina, factor de crecimiento neuronal (NGF). Observaron que esta neurotrofina desencadena la síntesis de proteínas axonales de manera retrógrada siendo necesaria para la supervivencia neuronal (Cox et al., 2008). Siguiendo esta línea Deglincerti y colaboradores aprovechando también la característica inherente de los sistemas compartimentalizados para poder aislar el cuerpo neuronal de los axones, han demostrado que el crecimiento axonal inducido por el NGF en las neuronas se basa en la actividad ubiquitina-proteasoma que es capaz de inducir procesos de ubiquitinación en los conos de crecimiento sugiriendo la síntesis y degradación de proteínas locales axonales (Deglincerti et al., 2015). Otra investigación interesante es la de Coquenco y cols. que desarrolló un dispositivo microfluídico de tres compartimentos para crear un modelo de estudio de la competencia sináptica *in vitro*. En este modelo, los axones se originan a partir de dos compartimentos separados que establecen conectividad con una población neuronal común en un tercer compartimento central. Al inhibir la actividad neuronal en una de las cámaras laterales, los axones en el compartimento central que derivan de las neuronas no tratadas formaron un mayor número de sinapsis en comparación con las derivadas del cultivo neuronal reprimido, demostrando que la disminución de la actividad de una población neuronal puede influir en el crecimiento axonal y la formación de circuitos sinápticos, con respecto a una población neuronal competidora (Coquenco et al., 2014).

En este sentido, utilizando también sistemas de microfluídica se han diseñado diversos modelos para explorar y desentrañar los mecanismos de formación, estabilización y degeneración de la unión neuromuscular (NMJ) (Zahavi et al., 2015; Uzel et al., 2014; Southam et al., 2013; Takeuchi et al., 2011). Takeuchi y cols. propusieron el primer sistema compartimentalizado diseñado para imitar el sistema neuromuscular. Además de los compartimentos individualizados, que separaban las neuronas de los miocitos, su diseño también incluía arreglos de microelectrodos integrados embebidos en el sustrato, que se usaban para estimular localmente las neuronas y registrar la actividad de las neuronas y las células musculares (Takeuchi et al., 2011), mientras que otros estudios demostraron el transporte retrógrado del factor neurotrófico derivado de glía (GDNF) secretado desde músculo a la neurona (Zahavi et al., 2015). En la misma línea de investigación, Seira y cols. utilizaron sistemas microfluídica para obtener un co-cultivo de motoneurona con miotubos derivados de C2C12 para imitar la formación de la unión neuromuscular; además mediante la integración con la técnica de imagen de calcio (Ca^{+2}) demostraron la funcionalidad NMJ al observar transientes transitorios de Ca^{+2} inducido por KCl (Seria et al., 2015) (Figura 3). De manera complementaria, los sistemas compartimentalizados de microfluídica también se han utilizado con éxito para realizar co-cultivos con neuronas autónomas y cardiomiocitos (Oiwa et al., 2016; Uzel et al., 2014).

Figura 3



Sistema microfluídico compartimentalizado de estudio de formación de unión neuromuscular. (A) Microfotografía de co-cultivo convencional de motoneuronas y miotubos; (B-C) Microscopía de fluorescencia de formación de unión neuromuscular mediante marcaje de motoneuronas (en azul, TUJ⁺), miotubos (en rojo, myosin II) y contacto sináptico (en verde, Alexa-BTX⁺); (D) Imagen de contraste de fases de motoneuronas (izq.) y células C2C12 diferenciadas (der.) separadas por microcanales en un sistema compartimentalizado; (E) microfotografía de fluorescencia de axones de motoneuronas (en rojo, TUJ1⁺) que establecen sinapsis (en verde, Alexa-BTX⁺) con miotubos derivados de la línea C2C12. (F) Estudio de transientes de Ca²⁺ en co-cultivo de motoneuronas y miotubos. Se observa que la estimulación de KCl (100 mM) en el compartimiento somal de las motoneuronas induce transientes de calcio, específicamente, en los miotubos conectados funcionalmente a axones neuronales (indicado por ROI1). Después de adicionar KCl (t=1,5-2,0 [m]) se observa un aumento progresivo del nivel calcio para llegar a la línea basal (t=30 [m]). En el extremo inferior, se representa la intensidad progresiva de los niveles de calcio en distintos tiempos (t=0', t=8' y t=30'). Barra de escala: A-C= 100 μ m; D= 200 μ m y E=100 μ m.

Fuente: Seira et al., Royal Society of Chemistry (RSC) (2015).

La capacidad de las plataformas basadas en microfluidos para aislar espacialmente distintos componentes neuronales ha permitido a los investigadores desarrollar algoritmos computacionales que son adecuados para el procesamiento automático de datos de imágenes axonales (Li et al., 2014). Estos nuevos algoritmos de procesamiento de imágenes fueron elaborados para estudios de comportamiento axonal en sistemas de microfluídica, permitiendo el análisis cuantitativo de la morfología axonal de forma automática y sin sesgos y además aprovechar determinadas características de las

plataformas microfluídicas (p.e, la compartimentación y la transparencia de la cámara). La generación de algoritmos acoplados a sistemas de microfluídica son atractivos para los investigadores, ya que pueden proporcionar cuantificaciones automáticas, robustas y independientes del usuario con respecto al comportamiento de las neuritas en los circuitos neuronales (Li et al., 2014; Frimat et al., 2010).

Por otro lado, la acumulación de daño celular y/o agregados de proteínas anormales es una característica importante de las enfermedades neurodegenerativas, como por ejemplo: la enfermedad de Alzheimer o Parkinson (Calderon-Garciduenas and Duyckaerts, 2017; Kalia and Lang, 2015; Choi et al., 2013). Con esta idea en mente se han creado diversos modelos microfluídicos para estudiar la actividad neuronal en diversas neuropatologías (Zahavi et al., 2015; Gu et al., 2014; Kim et al., 2014; Park et al., 2014; Song et al., 2014).

La enfermedad de Alzheimer (EA) es la forma más frecuente de demencia en el mundo (Probst et al., 1991). Como principales características fisiopatológicas presenta la acumulación de agregados derivados de la proteína β -amiloide, mayoritariamente en forma de agregados amiloides extracelulares (Hardy, 2017) y de la proteína del citoesqueleto tau, en forma de los ovillos neurofibrilares intracelulares sobretodo en las dendritas (Kametani and Hasegawa, 2018). La generación de proteínas β -amiloide es un ejemplo ampliamente conocido de proteólisis extracelular regulada (Brown et al., 2000). En este proceso, la proteína precursora amiloide (APP) puede ser procesada por dos vías, la amiloidogénica y la no amiloidogénica. Las dos son inherentes del sistema, pero en la EA se desequilibran y se procesa más la APP por la vía amiloidogénica. En este caso la APP es procesada por la β -secretasa, y no por la α -secretasa, y después por la γ -secretasa generando un péptido monomérico de 40-42 aminoácidos (Calderon-Garciduenas and Duyckaerts, 2017). Los monómeros β -amiloides tienden a agregarse y polimerizarse, formando oligómeros, que a su vez, contribuyen a las protofibrillas, y las protofibrillas a las fibrillas. Estas formas terminan agregándose extracelularmente formando las placas amiloides típicas de la enfermedad. Aunque existe un consenso general de que la β -amiloide induce la enfermedad de Alzheimer, existe controversia en torno a la pregunta de qué entidad molecular de la β -amiloide es la más tóxica y desempeña un papel principal en la causa de la enfermedad (Bucciantini et al., 2002; Lambert et al., 1998). Se cree que β -amiloide se internaliza preferentemente en los axones distales y contribuye a la apoptosis, sin embargo, la mayor parte de esta información se ha obtenido retrospectivamente en base a exámenes de cerebros tras autopsia postmortem (Song et al., 2011). Por lo tanto, sigue siendo poco claro si el β -amiloide realmente se propaga a través de conexiones neuroanatómicas y, si es así cómo se transmite. Estas preguntas son significativas porque la comprensión de la progresión patológica de la enfermedad podría ser importante para inhibir el progreso de la EA. Sin embargo, este tema ha sido abordado por pocos estudios, probablemente porque la mayoría del trabajo se ha centrado en los efectos tóxicos del β -amiloide (Song et al., 2014).

Por ejemplo, Choi y cols. para estudiar la neurotoxicidad de factores neurotóxicos crearon

un sistema de microfluidos biomiméticos que genera flujos de presión osmótica, similares a los gradientes del fluido intersticial cerebral, que contenían β -amiloide difusible y evaluaban los efectos de esta proteína en cultivo primarios neuronales. Esta plataforma no solo imita las condiciones fisiológicas del cerebro, sino que también ayuda a comprender el mecanismo de la β -amiloide en el flujo de líquido intersticial cerebral (Choi et al., 2013). Otros estudios, realizados con neuronas corticales en cámaras de microfluidos han observado como los procesos axonales son capaces de internalizar el β -amiloide y transportarlo de forma retrógrada al cuerpo neuronal. Éste se acumula en los axones distróficos y también las mitocondrias y lisosomas del cuerpo neuronal (Song et al., 2014). Esta información es crítica, debido a que si el β -amiloide transportado retrógradamente, a nivel neuronal, quizás se puede transmitir a otras neuronas. Esto abre una pregunta muy importante, ya que este proceso podría ser esencial para la propagación de la enfermedad en las diferentes regiones afectadas (Guo and Lee, 2014; Walker et al., 2013).

El uso de sistemas de microfluídica también se ha utilizado en el estudio de la difusión de los agregados de α -sinucleína típicos de la segunda enfermedad neurodegenerativa en número de pacientes, la enfermedad de Parkinson. Se trata de un desorden progresivo caracterizado por, inicialmente, la pérdida de neuronas dopaminérgicas en la sustancia nigra del cerebro, junto con la agregación anormal de proteínas intracelulares tales como la α -sinucleína, formando los cuerpos de Levy (Lees, 2009). Las neuronas de la sustancia nigra principalmente inervan el cuerpo estriado mediante neurotransmisión dopaminérgica que permite controlar la uniformidad, finura y sutileza de los movimientos voluntarios. Por tanto, cuando estas neuronas fallan, aparecen los temblores típicos de los pacientes de Parkinson (Kalia and Lang, 2015).

En este campo encontramos ejemplos del uso de modelos de microfluídica como el trabajo de Freundt y cols. donde observan realizan un estudio demuestra que las fibrillas de α -sinucleína se internalizan, se transportan de manera retrograda, a nivel axonal, para ser liberadas a otras neuronas secundarias. La transferencia de fibrillas de α -sinucleína podría explicar el patrón característico de la diseminación de cuerpos de Lewy entre áreas cerebrales conectadas anatómicamente (Freundt et al., 2012). Lu y cols. utilizan un sistema de microfluídica que incluye un gran compartimento, que permite a estudiar el papel del transporte mitocondrial en la degeneración axonal durante la enfermedad de Parkinson. Con este enfoque, los investigadores pudieron realizar imágenes de células en tiempo-real y analizar el movimiento de las mitocondrias axonales marcadas a lo largo del tiempo, surgiendo como un sistema prometedor para comprender mejor la degeneración axonal (Lu et al., 2012), demostrando una vez más la versatilidad de estos dispositivos de microfluídica.

Como tercer ejemplo concreto del uso de dispositivos de microfluídica en neurobiología encontramos la esclerosis múltiple. Es una enfermedad inflamatoria desmielinizante del sistema nervioso central con una variedad de presentaciones y patogénesis. La esclerosis

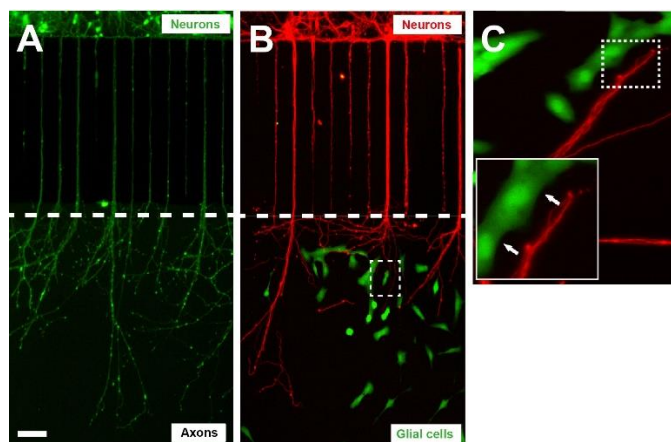
múltiple se ha asociado con el término autoinmunidad, como un sustituto de la patogénesis. La esclerosis múltiple es una enfermedad específica del sistema nervioso que incluye la destrucción de la mielina mediada por el propio sistema inmunitario (Goldenberg, 2012). La comprensión de la etiología de la esclerosis múltiple es compleja y, por ello, es de importancia el entendimiento de los mecanismos que mantienen la integridad de los axones para la búsqueda de tratamientos para la enfermedad (Lemus et al., 2018). Estudios recientes han demostrado los beneficios de usar un microsistema compartimentalizados de neuronas y células gliales para estudiar el proceso de mielinización en diferentes condiciones experimentales in vitro (Li et al., 2012; Park et al., 2012; Yang et al., 2012). Por ejemplo, Park y cols. desarrollaron una plataforma de microfluídica para un co-cultivo de neuronas y oligodendrocitos en compartimientos separados por microcanales que proporcionan el aislamiento físico de los somas neuronales, pero no los axones con un mantenimiento de la conservación de aislamiento fluido. Este estudio observó que el crecimiento axonal es mejorado en presencia del componente glial, como también se observa a los oligodendrocitos alineados a las fibras axonales en un patrón similar al encontrado en los tractos de materia blanca in vivo (Park et al., 2009). En otro estudio, se desarrolló un atractivo sistema de microfluídica compartimentalizado que permite realizar diferentes configuraciones de co-cultivo experimental con hasta seis tratamientos farmacológicos diferentes, en paralelo, en el mismo microdispositivo. Con esta plataforma, se pudieron estudiar simultáneamente las comunicación axón-glía, el desarrollo y la diferenciación de oligodendrocitos, así como las respuestas axonales específicas a diferentes estímulos (Park et al., 2012). Yang y cols. establecieron un protocolo de estimulación eléctrica intermitente capaz de inducir la formación de la vaina de mielina. Este logro podría ser clínicamente relevante ya que se sabe que la estimulación eléctrica funcional promueve la regeneración después de una lesión experimental de la médula espinal (Yang et al., 2012). Finalmente, combinando sistema de microfluídica con células madre surgen nuevos enfoques terapéuticos para el tratamiento de enfermedades desmielinizantes, como la esclerosis múltiple y las leucodistrofias que comienzan a ser explorados. En un estudio reciente, se han realizado co-cultivos de neuronas y oligodendrocitos derivados de células madre embrionarias de ratón en un microdispositivo compartimentalizado logrando establecer una nueva e innovadora aproximación, como modelo de formación in vitro de mielina (Kerman et al., 2015).

El daño al SNC de los mamíferos adultos, generalmente, conlleva a déficits neurológicos persistentes con una recuperación funcional limitada. Muchos estudios se han centrado en la prevención de los daños neuronales y la restauración de las conexiones funcionales que se ven comprometidas después de una lesión o daño patológico. En comparación con el SNP, la problema en la regeneración del SNC adulto se atribuye, en gran parte, a dos aspectos básicos: influencias ambientales inhibitorias y capacidades de crecimiento disminuidas de las neuronas adultas del SNC (Fitch and Silver, 2008).

Desde la demostración temprana del crecimiento exitoso de los axones del SNC lesionados en el nervio periférico injertado (David and Aguayo, 1981), se han identificado múltiples factores inhibidores del crecimiento axonal del SNC y que se asocian principalmente a proteínas inhibitorias mielina (como, las proteínas Nogo-A, MAG, OMgp) (Reginensi et al., 2015; Reginensi et al., 2012) y diversas moléculas inhibitorias asociadas a la cicatriz meningo-glial (como los proteoglicanos de sulfato de condroitina, CSPG) (Reginensi et al., 2015; Yiu and He, 2006). Sin embargo, el bloqueo de estas señales inhibitorias extracelulares por sí solo a menudo es insuficiente para que la mayoría de los axones lesionados logren la regeneración a larga distancia (Reginensi et al., 2015), ya que la capacidad regenerativa intrínseca de las neuronas del SNC maduras también es un factor determinante para el recrecimiento de los axones (Sun et al., 2011).

Si bien los modelos animales son indispensables para la comprensión de las lesiones del SNC y las estrategias de regeneración funcional, los modelos *in vitro* se han diseñado para abordar preguntas específicas y únicas debido a su accesibilidad a manipulaciones experimentales y su costo relativamente bajo. Sin embargo, el sistema de cultivo convencional, a menudo, tienen que usar cultivos neuronales a baja densidad celular y solo durante un corto período de tiempo debido a dificultades técnicas para monitorear y cuantificar el crecimiento axonal (Kim et al., 2014). Para desarrollar estrategias regenerativas efectivas del SNC, una evaluación rápida y confiable del crecimiento axonal es fundamental no solo para identificar y seleccionar moléculas candidatas potencialmente interesantes que promuevan la extensión del axón sobre las moléculas inhibitorias, sino que también descartar las moléculas poco eficientes. El surgimiento de la tecnología de microfluidos ofrece muchas ventajas y versatilidades para los estudios de la interacción neurona-glía y la regeneración axonal (**Figura 4**).

Figura 4



Sistema microfluídico compartimentalizado de estudio de interacción neurona-glía. (A) Cultivo compartimentalizado de neuronas (en verde, TUJ⁺); (B-C) Cultivo compartimentalizado de neuronas (en rojo, TUJ⁺) asociado a células gliales (en verde) que son capaces de interactuar con la zona axonal. Barra de escala: A-B= 25 μ m.

Fuente: Reginensi et al., Cellular and Molecular Life Science (CMLS) (2015).

Por ejemplo, Park y cols. presentan un sistema de microchip que es capaz de aislar axones del SNC de cuerpos celulares neuronales para un análisis de crecimiento axonal cuantitativo rápido y fácil. Usando este dispositivo de microfluídica en neuronas corticales, probaron el efecto de varios componentes de la matriz extracelular (p.e colágeno, laminina) y, al utilizar moléculas inhibitorias regenerativas, tales como: CSPG se observa una inhibición del crecimiento de los axones (Park et al., 2014). Luego de 24 horas en contacto con el CSPG, un recrecimiento de los axones lesionados es extremadamente limitado. Sin embargo, se observa restablecimiento del recrecimiento de los axones cuando fueron tratados con condroitinasa ABC (ChABC), una enzima que corta las cadenas laterales del CSPG, por lo que logra reprimir su efecto inhibitorio. Esta enzima pierde su actividad enzimática rápidamente a los 37°C, por lo cual requiere ser inyectada constantemente, razón por la cual no sería factible aplicarla en un ambiente in vivo. En estudios recientes están haciendo pruebas con un ChABC termoestabilizado in vitro para ser utilizado en humanos (Lee et al., 2010). Este modelo de microfluídica fue creado con el propósito de replicar de manera in vitro lesiones neuronales de una forma controlada. Mediante el mismo se pueden controlar las dimensiones de las lesiones inducidas y la distancia de la lesión con respecto al soma, manteniendo las porciones distales y proximales de los axones (Park et al., 2009). Peyrin y cols. desarrollaron un dispositivo microfluídico de tres compartimentos, con un control espacio-temporal de alta precisión, para estudiar la degeneración axonal simultánea y los mecanismos de muerte de los axones del SNC sometidos a axotomía y observaron una rápida degeneración tipo-walleriana en los axones distales cortados, idéntica a la observada en los procesos de axotomía in vivo (Kilinc et al., 2011). Hosmane y cols. fueron capaces de confeccionar una versión circular multiplexada de una plataforma de microfluídica que demostraba un aumento de la acumulación de microglia en la zona de los axones lesionados, como un evento relacionado con el mantenimiento y la progresión de diversas enfermedades crónicas neuroinflamatorias y neurodegenerativas (Hosmane et al., 2010).

En otra instancia, las plataformas microfluídicas se han utilizado como herramientas valiosas para estudiar la regeneración de axones in vivo. Muchos organismos modelo, como *Aplysia Californica*, *Caenorhabditis Elegans*, *Drosophila Melanogaster* y el pez cebra, se han utilizado para estudios de lesión y regeneración de neuronas in vivo (Hosmane et al., 2011; Chokshi et al., 2009; Guo et al., 2008b). *Caenorhabditis elegans*, en particular, proporciona un paradigma interesante para estudiar la lesión y la regeneración del sistema nervioso, ya que su genoma se ha secuenciado completamente y su axotomía in vivo es muy factible. El paso crítico de inmovilizar al gusano y someterlo a una axotomía se ha realizado convencionalmente mediante el uso de pegamento y anestésicos, en donde estos métodos pueden tener efectos tóxicos desconocidos que son difíciles de evaluar o requieren mucho trabajo y son de bajo rendimiento (Chokshi et al., 2009; Guo et al., 2008b). Las plataformas microfluídicas pueden proporcionar una alternativa inteligente a estas técnicas. Así es, como Chokshi y cols. desarrollaron plataformas de microfluidos para inmovilizar gusanos individuales a corto o largo plazo para caracterizar su comportamiento en el sistema microfluídico. La inmovilización se

logra en base a dos enfoques; o bien el CO₂ se utiliza para cambiar el microambiente y el cese del movimiento del gusano a largo plazo, o usa una membrana deformable para restringir mecánicamente el gusano (Chokshi et al., 2009). Estas plataformas permiten estudiar la regeneración axonal e integrar imágenes de alto rendimiento. El potencial de automatización es alto en estas plataformas debido a su pequeño tamaño y escala, lo que permite un elevado y robusto rendimiento en estudios de regeneración axonal (Chokshi et al., 2009; Chung et al., 2008). Guo y cols. desarrollaron una plataforma microfluídica de alto rendimiento para estudios de regeneración en nervios *in vivo* que permite la nanocirugía de los nematodos que se puede utilizaren combinación con técnicas de ablación por láser altamente específicas para lesionarlos una vez que se han inmovilizado constantemente, observándose axotomías diferenciales en función de la frecuencia o la tasa de repetición del láser (Guo et al., 2008b). Este dispositivo microfluídico presenta muchas ventajas al momento de estudiar a *C. Elegans*, tales como: (i) el hecho de que ningún químico aparte de los sustratos interferirá en el crecimiento de los gusanos, (ii) la deflexión adaptiva de la membrana permite la inmovilización de los gusanos de múltiples tamaños, (iii) los gusanos no requieren un tiempo de recuperación luego de las cirugías, (iv) las condiciones experimentales son fáciles de reproducir y finalmente, (v) el diseño del chip es lo suficientemente simple como para ser adaptado para otros organismos, u otros experimentos (Guo et al., 2008a).

Conclusión

El entendimiento de los mecanismos moleculares que gobiernan la degeneración y regeneración es una base fundamental para el desarrollo de estrategias protectoras y regenerativas potenciales para el tratamiento de desórdenes y lesiones neurológicas. Los dispositivos basados en microfluidos han surgido como nuevas plataformas *in vitro* para la investigación neurobiológica debido a sus excelentes capacidades de control espacial y temporal, fácil ensamblaje, alta reproducibilidad, capacidad para realizar análisis de imágenes y bioquímicos. Además su potencial de alto rendimiento en procesos fisiológicos relevantes ayudan a responder algunas preguntas fundamentales de la neurobiología moderna, como por ejemplo, cómo los axones en crecimiento convierten señales externas en eventos intracelulares y cómo el microambiente neural es capaz de moldear decisiones en un sistema nervioso lesionado.

La lesión nerviosa es un fenómeno ampliamente observado, pero difícil de estudiar, particularmente *in vivo*. Una comprensión más completa de la neurobiología de la lesión nerviosa y la regeneración neural puede mejorar los resultados de reparación y recuperación funcional basados en células madres, los biomateriales y las intervenciones quirúrgicas. Por lo tanto, los métodos *in vitro* son interesantes para observar con precisión, a nivel microscópico, la lesión nerviosa y desarrollar diferentes estrategias de reparación. Las plataformas microfluídicas utilizadas para estudiar la lesión del SNC ofrecen muchas ventajas sobre los modelos tradicionales *in vitro* o *in vivo*. Los canales microfluídicos desarrollados para crear regiones de aislamiento fluídico pueden ser simples y construirse con dispositivos microfluídicos disponibles comercialmente (Taylor

et al., 2005), o pueden ser extremadamente complejos y difíciles de fabricar en la mayoría de los laboratorios biológicos. Los continuos avances en el campo de la microtecnología permite la creación de dispositivos capaces de estudiar la regeneración a escala celular reduccionista, lo que permite la capacidad de desentrañar mecanismos que pueden perderse en el complejo entorno *in vivo*. Sin embargo, cada una de estas plataformas de lesiones tiene varias ventajas y desventajas que deben considerarse cuidadosamente antes de decidir qué plataforma usar para un estudio en particular. Esta capacidad permite que las plataformas microfluídicas imiten fenómenos diversos procesos neurofisiológicos, como: el crecimiento axonal, los procesos sinápticos, la interacción neurona-glía y el daño axonal. La lesión química se puede lograr fácilmente dentro de una plataforma microfluídica, mientras que la lesión física se logra a través de la incorporación de otras tecnologías, como los láseres, las micro-cuchillas y las válvulas de compresión. La lesión química, sin embargo, no captura la respuesta completa de la lesión al trauma físico.

El entorno de la zona lesionada, en el sistema nervioso central, también se puede modelar, a través de modificaciones químicas de la superficie del microdispositivo o la alteración de los flujos de fluidos. Si bien la potencia de los dispositivos microfluídicos se encuentra en sus entornos reduccionistas y altamente controlables, los dispositivos microfluídicos no asemejan perfectamente al entorno *in vivo*, debido a la enorme complejidad de biomimetizar la gran variedad de variables moleculares presentes en el microambiente del daño neuronal. Además, cantidades minúsculas de medios pueden dar lugar a problemas de viabilidad celular debido a la evaporación y la dificultad potencial para mantener las condiciones de cultivo celular, si no se gestionan de forma estricta.

In vivo, la microfluídica permite el rendimiento de la detección de alto rendimiento de compuestos regenerativos en los sistemas modelo de *Drosophila* y *C. Elegans* sin el uso de anestésicos. En resumen, cada una de estas plataformas debe ser acordemente estudiada y analizada para evaluar ventajas y desventajas de las mismas para encontrar la manera de implementar métodos para disminuir las desventajas que estas plataformas presenten. Ejemplo de esto se puede observar principalmente en los dispositivos microfluídicos encargados de la representación de lesiones neuronales, las cuales realmente pueden ser muy variadas y no van a poder ser representadas en su totalidad en un dispositivo microfluídico. Esto representa una desventaja, pero si a futuro se logra implementar soluciones para esto como la creación de un dispositivo microfluídico capaz de representar todas las lesiones presentes, o al menos una gran variedad de ellas, puede representar un gran avance en el estudio de lesiones neuronales.

Debido a esto, se puede asegurar que han sido grandes los avances presenciados en el área, pero aún hay mucho más por descubrir en la misma, principalmente por el hecho de que es un área en temprano desarrollo y tiene un gran campo que cubrir, lo cual es demostrado en las expectativas que tiene el área, principalmente en el área de biomímesis, ya que se habla de dispositivos capaces de replicar de mejor manera el

ambiente tridimensional de la regeneración *in-vivo*, además de lograr la incorporación de avances en otros campos de la biomedicina como la optogenética y el área de los biosensores con el objetivo de extender los hallazgos de estudios celulares y acercarse más al desarrollo de terapias clínicas para mejorar la regeneración neuronal tanto en el Sistema Nervioso Central como en el Sistema Nervioso Periférico.

En conclusión, la microfluídica en el área de la biociencia es un campo que ha contribuido ampliamente para la comprensión de lo que ocurre en el sistema nervioso y ha permitido el desarrollo de técnicas para la regeneración neuronal y comprensión de diversas enfermedades neurodegenerativas que, a largo plazo, lograrán ser implementadas en un ambiente *in-vivo*, contribuyendo de esta manera a la ciencia, la tecnología y al sector de salud.

Agradecimientos

Este artículo de revisión bibliográfica titulado: “Microfluídica, como plataforma de estudio de neurobiología” forma parte del Proyecto de Título de L.R. Este artículo de investigación es apoyado por la Convocatoria de Fomento de Investigación y Desarrollo, SENACYT (FID17, SENACYT) titulado “Terapias Avanzadas para el estudio de Regeneración Axonal” que tiene como investigador principal a D.R.; complementariamente, D.R agradece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), SENACYT por apoyar su desarrollo en la investigación panameña.

Se agradece también al Dr. Andreu Matamoros del grupo Neurobiotecnología Molecular y Celular, Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC), Barcelona, España y al Dr. Oscar Seira, investigador postdoctoral, del International Collaboration on Repair Discoveries (ICORD), University of British Columbia (UBC), Vancouver, Canada por sus críticas constructivas a lo largo de su desarrollo de este artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baumann, N., and D. Pham-Dinh. 2001. Biology of oligodendrocyte and myelin in the mammalian central nervous system. *Physiological reviews*. 81:871-927.

Beebe, D.J., G.A. Mensing, and G.M. Walker. 2002. Physics and applications of microfluidics in biology. *Annual review of biomedical engineering*. 4:261-286.

Brown, M.S., J. Ye, R.B. Rawson, and J.L. Goldstein. 2000. Regulated intramembrane proteolysis: a control mechanism conserved from bacteria to humans. *Cell*. 100:391-398.

Bucciantini, M., E. Giannoni, F. Chiti, F. Baroni, L. Formigli, J. Zurdo, N. Taddei, G. Ramponi, C.M. Dobson, and M. Stefani. 2002. Inherent toxicity of aggregates implies a common mechanism for protein misfolding diseases. *Nature*. 416:507-511.

Calderon-Garciduenas, A.L., and C. Duyckaerts. 2017. Alzheimer disease. *Handbook of*

clinical neurology. 145:325-337.

- Cea, L.A., B.A. Cisterna, C. Puebla, M. Frank, X.F. Figueroa, C. Cardozo, K. Willecke, R. Latorre, and J.C. Saez. 2013. De novo expression of connexin hemichannels in denervated fast skeletal muscles leads to atrophy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 110:16229-16234.
- Chen, J.L., and E. Nedivi. 2010. Neuronal structural remodeling: is it all about access? *Current opinion in neurobiology*. 20:557-562.
- Choi, Y.J., S. Chae, J.H. Kim, K.F. Barald, J.Y. Park, and S.H. Lee. 2013. Neurotoxic amyloid beta oligomeric assemblies recreated in microfluidic platform with interstitial level of slow flow. *Scientific reports*. 3:1921.
- Chokshi, T.V., A. Ben-Yakar, and N. Chronis. 2009. CO₂ and compressive immobilization of *C. elegans* on-chip. *Lab on a chip*. 9:151-157.
- Chung, K., M.M. Crane, and H. Lu. 2008. Automated on-chip rapid microscopy, phenotyping and sorting of *C. elegans*. *Nature methods*. 5:637-643.
- Cisterna, B.A., C. Cardozo, and J.C. Saez. 2014. Neuronal involvement in muscular atrophy. *Frontiers in cellular neuroscience*. 8:405.
- Cisterna, B.A., A.A. Vargas, C. Puebla, and J.C. Saez. 2016. Connexin hemichannels explain the ionic imbalance and lead to atrophy in denervated skeletal muscles. *Biochimica et biophysica acta*. 1862:2168-2176.
- Coquinco, A., L. Kojic, W. Wen, Y.T. Wang, N.L. Jeon, A.J. Milnerwood, and M. Cynader. 2014. A microfluidic based in vitro model of synaptic competition. *Molecular and cellular neurosciences*. 60:43-52.
- Cox, L.J., U. Hengst, N.G. Gurskaya, K.A. Lukyanov, and S.R. Jaffrey. 2008. Intra-axonal translation and retrograde trafficking of CREB promotes neuronal survival. *Nature cell biology*. 10:149-159.
- David, S., and A.J. Aguayo. 1981. Axonal elongation into peripheral nervous system "bridges" after central nervous system injury in adult rats. *Science (New York, N.Y.)*.

214:931-933.

Deglincerti, A., Y. Liu, D. Colak, U. Hengst, G. Xu, and S.R. Jaffrey. 2015. Coupled local translation and degradation regulate growth cone collapse. *Nature communications*. 6:6888.

Elveflow. 2018. Microfluidic Mixers: A Short Review.

Fitch, M.T., and J. Silver. 2008. CNS injury, glial scars, and inflammation: Inhibitory extracellular matrices and regeneration failure. *Experimental neurology*. 209:294-301.

Freundt, E.C., N. Maynard, E.K. Clancy, S. Roy, L. Bousset, Y. Sourigues, M. Covert, R. Melki, K. Kirkegaard, and M. Brahic. 2012. Neuron-to-neuron transmission of alpha-synuclein fibrils through axonal transport. *Annals of neurology*. 72:517-524.

Frimat, J.P., J. Sisnaïske, S. Subbiah, H. Menne, P. Godoy, P. Lampen, M. Leist, J. Franzke, J.G. Hengstler, C. van Thriel, and J. West. 2010. The network formation assay: a spatially standardized neurite outgrowth analytical display for neurotoxicity screening. *Lab on a chip*. 10:701-709.

Goldenberg, M.M. 2012. Multiple sclerosis review. *P & T : a peer-reviewed journal for formulary management*. 37:175-184.

Gu, L., B. Black, S. Ordonez, A. Mondal, A. Jain, and S. Mohanty. 2014. Microfluidic control of axonal guidance. *Scientific reports*. 4:6457.

Guo, J.L., and V.M. Lee. 2014. Cell-to-cell transmission of pathogenic proteins in neurodegenerative diseases. *Nature medicine*. 20:130-138.

Guo, S.X., F. Bourgeois, T. Chokshi, N.J. Durr, M.A. Hilliard, N. Chronis, and A. Ben-Yakar. 2008a. Femtosecond laser nanoaxotomy lab-on-a-chip for in vivo nerve regeneration studies. *Nature methods*. 5:531-533.

Guo, S.X., F. Bourgeois, T. Chokshi, N.J. Durr, M.A. Hilliard, N. Chronis, and A. Ben-Yakar. 2008b. Femtosecond laser nanoaxotomy lab-on-a-chip for in vivo nerve regeneration studies. *Nature methods*. 5:531-533.

Halldorsson, S., E. Lucumi, R. Gomez-Sjoberg, and R.M.T. Fleming. 2015. Advantages and

challenges of microfluidic cell culture in polydimethylsiloxane devices. *Biosensors & bioelectronics*. 63:218-231.

Hardy, J. 2017. The discovery of Alzheimer-causing mutations in the APP gene and the formulation of the "amyloid cascade hypothesis". *The FEBS journal*. 284:1040-1044.

Hosmane, S., A. Fournier, R. Wright, L. Rajbhandari, R. Siddique, I.H. Yang, K.T. Ramesh, A. Venkatesan, and N. Thakor. 2011. Valve-based microfluidic compression platform: single axon injury and regrowth. *Lab on a chip*. 11:3888-3895.

Hosmane, S., I.H. Yang, A. Ruffin, N. Thakor, and A. Venkatesan. 2010. Circular compartmentalized microfluidic platform: Study of axon-glia interactions. *Lab on a chip*. 10:741-747.

Kalia, L.V., and A.E. Lang. 2015. Parkinson's disease. *Lancet (London, England)*. 386:896-912.

Kametani, F., and M. Hasegawa. 2018. Reconsideration of Amyloid Hypothesis and Tau Hypothesis in Alzheimer's Disease. *Frontiers in neuroscience*. 12:25.

Kerman, B.E., H.J. Kim, K. Padmanabhan, A. Mei, S. Georges, M.S. Joens, J.A. Fitzpatrick, R. Jappelli, K.J. Chandross, P. August, and F.H. Gage. 2015. In vitro myelin formation using embryonic stem cells. *Development (Cambridge, England)*. 142:2213-2225.

Kilinc, D., J.M. Peyrin, V. Soubeyre, S. Magnifico, L. Saias, J.L. Viovy, and B. Brugg. 2011. Wallerian-like degeneration of central neurons after synchronized and geometrically registered mass axotomy in a three-compartmental microfluidic chip. *Neurotoxicity research*. 19:149-161.

Kim, S., H.J. Kim, and N.L. Jeon. 2010. Biological applications of microfluidic gradient devices. *Integrative biology : quantitative biosciences from nano to macro*. 2:584-603.

Kim, S., J. Park, A. Han, and J. Li. 2014. Microfluidic systems for axonal growth and regeneration research. *Neural regeneration research*. 9:1703-1705.

Lambert, M.P., A.K. Barlow, B.A. Chromy, C. Edwards, R. Freed, M. Liosatos, T.E. Morgan, I. Rozovsky, B. Trommer, K.L. Viola, P. Wals, C. Zhang, C.E. Finch, G.A. Krafft, and W.L. Klein. 1998. Diffusible, nonfibrillar ligands derived from Abeta1-42 are potent central

- nervous system neurotoxins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 95:6448-6453.
- Lee, H., R.J. McKeon, and R.V. Bellamkonda. 2010. Sustained delivery of thermostabilized chABC enhances axonal sprouting and functional recovery after spinal cord injury. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 107:3340-3345.
- Lees, A.J. 2009. The Parkinson chimera. *Neurology*. 72:S2-11.
- Lemus, H.N., A.E. Warrington, and M. Rodriguez. 2018. Multiple Sclerosis: Mechanisms of Disease and Strategies for Myelin and Axonal Repair. *Neurologic clinics*. 36:1-11.
- Li Jeon, N., H. Baskaran, S.K. Dertinger, G.M. Whitesides, L. Van de Water, and M. Toner. 2002. Neutrophil chemotaxis in linear and complex gradients of interleukin-8 formed in a microfabricated device. *Nature biotechnology*. 20:826-830.
- Li, L., L. Ren, W. Liu, J.C. Wang, Y. Wang, Q. Tu, J. Xu, R. Liu, Y. Zhang, M.S. Yuan, T. Li, and J. Wang. 2012. Spatiotemporally controlled and multifactor involved assay of neuronal compartment regeneration after chemical injury in an integrated microfluidics. *Analytical chemistry*. 84:6444-6453.
- Li, Y., M. Yang, Z. Huang, X. Chen, M.T. Maloney, L. Zhu, J. Liu, Y. Yang, S. Du, X. Jiang, and J.Y. Wu. 2014. AxonQuant: A Microfluidic Chamber Culture-Coupled Algorithm That Allows High-Throughput Quantification of Axonal Damage. *Neuro-Signals*. 22:14-29.
- Lin, B., and A. Levchenko. 2015. Spatial manipulation with microfluidics. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 3:39.
- Locascio, L.E., C.E. Perso, and C.S. Lee. 1999. Measurement of electroosmotic flow in plastic imprinted microfluid devices and the effect of protein adsorption on flow rate. *Journal of chromatography. A*. 857:275-284.
- Lu, X., J.S. Kim-Han, K.L. O'Malley, and S.E. Sakiyama-Elbert. 2012. A microdevice platform for visualizing mitochondrial transport in aligned dopaminergic axons. *Journal of neuroscience methods*. 209:35-39.

- Manz, A., C.S. Effenhauser, N. Burggraf, D.J. Harrison, K. Seiler, and K. Fluri. 1994. Electroosmotic pumping and electrophoretic separations for miniaturized chemical analysis systems. *Journal of Micromechanics and Microengineering*. 4:257-265.
- Millet, L.J., and M.U. Gillette. 2012a. New perspectives on neuronal development via microfluidic environments. *Trends in neurosciences*. 35:752-761.
- Millet, L.J., and M.U. Gillette. 2012b. Over a century of neuron culture: from the hanging drop to microfluidic devices. *The Yale journal of biology and medicine*. 85:501-521.
- Nave, K.A., and J.L. Salzer. 2006. Axonal regulation of myelination by neuregulin 1. *Current opinion in neurobiology*. 16:492-500.
- Oiwa, K., K. Shimba, T. Numata, A. Takeuchi, K. Kotani, and Y. Jimbo. 2016. A device for co-culturing autonomic neurons and cardiomyocytes using micro-fabrication techniques. *Integrative biology : quantitative biosciences from nano to macro*. 8:341-348.
- Park, H.S., S. Liu, J. McDonald, N. Thakor, and I.H. Yang. 2013. Neuromuscular junction in a microfluidic device. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference*. 2013:2833-2835.
- Park, J., S. Kim, S.I. Park, Y. Choe, J. Li, and A. Han. 2014. A microchip for quantitative analysis of CNS axon growth under localized biomolecular treatments. *Journal of neuroscience methods*. 221:166-174.
- Park, J., H. Koito, J. Li, and A. Han. 2009. Microfluidic compartmentalized co-culture platform for CNS axon myelination research. *Biomedical microdevices*. 11:1145-1153.
- Park, J., H. Koito, J. Li, and A. Han. 2012. Multi-compartment neuron-glia co-culture platform for localized CNS axon-glia interaction study. *Lab on a chip*. 12:3296-3304.
- Probst, A., D. Langui, and J. Ulrich. 1991. Alzheimer's disease: a description of the structural lesions. *Brain pathology (Zurich, Switzerland)*. 1:229-239.
- Reginensi, D., P. Carulla, S. Nocentini, O. Seira, X. Serra-Picamal, A. Torres-Espin, A. Matamoros-Angles, R. Gavin, M.T. Moreno-Flores, F. Wandosell, J. Samitier, X. Trepac,

- X. Navarro, and J.A. del Rio. 2015. Increased migration of olfactory ensheathing cells secreting the Nogo receptor ectodomain over inhibitory substrates and lesioned spinal cord. *Cellular and molecular life sciences : CMLS*. 72:2719-2737.
- Reginensi, D., S. Nocentini, S. Garcia, P. Carulla, M.T. Moreno-Flores, F. Wandosell, X. Trepas, A. Bribian, and J.A. del Rio. 2012. Myelin-associated proteins block the migration of olfactory ensheathing cells: an in vitro study using single-cell tracking and traction force microscopy. *Cellular and molecular life sciences : CMLS*. 69:1689-1703.
- Sekhon, B. 2011. An overview of capillary electrophoresis: Pharmaceutical, biopharmaceutical and biotechnology applications. 2-36 pp.
- Sharp, K., R. Adrian, J. Molho, and J. Santiago. 2002. Liquid Flows in Microchannels. pp. 6-1-38.
- Song, H.L., S. Shim, D.H. Kim, S.H. Won, S. Joo, S. Kim, N.L. Jeon, and S.Y. Yoon. 2014. beta-Amyloid is transmitted via neuronal connections along axonal membranes. *Annals of neurology*. 75:88-97.
- Song, M.S., G.B. Baker, K.G. Todd, and S. Kar. 2011. Inhibition of beta-amyloid1-42 internalization attenuates neuronal death by stabilizing the endosomal-lysosomal system in rat cortical cultured neurons. *Neuroscience*. 178:181-188.
- Southam, K.A., A.E. King, C.A. Blizzard, G.H. McCormack, and T.C. Dickson. 2013. Microfluidic primary culture model of the lower motor neuron-neuromuscular junction circuit. *Journal of neuroscience methods*. 218:164-169.
- Squires, T.M., and S.R. Quake. 2005. Microfluidics: Fluid physics at the nanoliter scale. *Reviews of Modern Physics*. 77:977-1026.
- Sun, F., K.K. Park, S. Belin, D. Wang, T. Lu, G. Chen, K. Zhang, C. Yeung, G. Feng, B.A. Yankner, and Z. He. 2011. Sustained axon regeneration induced by co-deletion of PTEN and SOCS3. *Nature*. 480:372-375.
- Takeuchi, A., S. Nakafutami, H. Tani, M. Mori, Y. Takayama, H. Moriguchi, K. Kotani, K. Miwa, J.K. Lee, M. Noshiro, and Y. Jimbo. 2011. Device for co-culture of sympathetic neurons and cardiomyocytes using microfabrication. *Lab on a chip*. 11:2268-2275.

- Taylor, A.M., M. Blurton-Jones, S.W. Rhee, D.H. Cribbs, C.W. Cotman, and N.L. Jeon. 2005. A microfluidic culture platform for CNS axonal injury, regeneration and transport. *Nature methods*. 2:599-605.
- Taylor, A.M., D.C. Dieterich, H.T. Ito, S.A. Kim, and E.M. Schuman. 2010. Microfluidic local perfusion chambers for the visualization and manipulation of synapses. *Neuron*. 66:57-68.
- Taylor, A.M., and N.L. Jeon. 2011. Microfluidic and compartmentalized platforms for neurobiological research. *Critical reviews in biomedical engineering*. 39:185-200.
- Uzel, S.G., A. Pavesi, and R.D. Kamm. 2014. Microfabrication and microfluidics for muscle tissue models. *Progress in biophysics and molecular biology*. 115:279-293.
- Walker, L.C., M.I. Diamond, K.E. Duff, and B.T. Hyman. 2013. Mechanisms of protein seeding in neurodegenerative diseases. *JAMA neurology*. 70:304-310.
- Wang, Y., W.Y. Lin, K. Liu, R.J. Lin, M. Selke, H.C. Kolb, N. Zhang, X.Z. Zhao, M.E. Phelps, C.K. Shen, K.F. Faull, and H.R. Tseng. 2009. An integrated microfluidic device for large-scale in situ click chemistry screening. *Lab on a chip*. 9:2281-2285.
- Whitesides, G.M. 2006. The origins and the future of microfluidics. *Nature*. 442:368-373.
- Whitesides, G.M., E. Ostuni, S. Takayama, X. Jiang, and D.E. Ingber. 2001. Soft lithography in biology and biochemistry. *Annual review of biomedical engineering*. 3:335-373.
- Wong, I.Y., S.N. Bhatia, and M. Toner. 2013. Nanotechnology: emerging tools for biology and medicine. *Genes & development*. 27:2397-2408.
- Wu, K.Y., U. Hengst, L.J. Cox, E.Z. Macosko, A. Jeromin, E.R. Urquhart, and S.R. Jaffrey. 2005. Local translation of RhoA regulates growth cone collapse. *Nature*. 436:1020-1024.
- Yang, I.H., D. Gary, M. Malone, S. Dria, T. Houdayer, V. Belegu, J.W. McDonald, and N. Thakor. 2012. Axon myelination and electrical stimulation in a microfluidic, compartmentalized cell culture platform. *Neuromolecular medicine*. 14:112-118.

- Yi, Y., J. Park, J. Lim, C.J. Lee, and S.H. Lee. 2015. Central Nervous System and its Disease Models on a Chip. *Trends in biotechnology*. 33:762-776.
- Yiu, G., and Z. He. 2006. Glial inhibition of CNS axon regeneration. *Nature reviews. Neuroscience*. 7:617-627.
- Zahavi, E.E., A. Ionescu, S. Gluska, T. Gradus, K. Ben-Yaakov, and E. Perlson. 2015. A compartmentalized microfluidic neuromuscular co-culture system reveals spatial aspects of GDNF functions. *Journal of cell science*. 128:1241-1252.
- Zhang, J., S. Yan, D. Yuan, G. Alici, N.T. Nguyen, M. Ebrahimi Warkiani, and W. Li. 2016. Fundamentals and applications of inertial microfluidics: a review. *Lab on a chip*. 16:10-34.

EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL CAMPO PROFESIONAL DE LA INGENIERÍA BIOMÉDICA EN PANAMÁ

EVALUATION OF THE ACTUAL STATE OF THE BIOMEDICAL ENGINEERING PROFESSIONAL FIELD IN PANAMA

AUTOR: MELISA MONTES¹ Y CLARA CRUZ²

¹ Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá. ² Profesora de Estadística de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá

Correos: melissamontes@outlook.com; cecruz1808@gmail.com

Recibido: 15 de mayo de 2019

Aceptado: 17 de junio de 2019

Resumen

PALABRAS CLAVE:

Ingeniería biomédica, rol del ingeniero biomédico, campo profesional en Panamá.

El objetivo de este estudio es evaluar el estado actual del campo profesional de la ingeniería biomédica en Panamá a través del análisis de su evolución en este país, la comparación de su situación actual entre otros países de Latinoamérica y la valoración por medio de encuestas que muestren el nivel de satisfacción de profesionales idóneos sobre el campo de la ingeniería biomédica en Panamá. La encuesta se llevó a cabo a una muestra de 138 profesionales con idoneidad. Mediante los resultados obtenidos se identificó que los encuestados están satisfechos con el rol actual del ingeniero biomédico en el mercado laboral panameño. Sin embargo, no están

satisfechos con la variedad de ofertas laborales y la expectativa salarial actual basada en grados académicos y años de experiencia laboral; además, declaran la ausencia de oportunidades para estudios superiores de posgrado y opinan que es necesario fortalecer la oferta académica a través del aprovisionamiento de la infraestructura con laboratorios equipados que faciliten el proceso de aprendizaje en los estudiantes. En ese sentido, con referencia a la revisión de la literatura y la opinión de profesionales, se concluye que el campo de la ingeniería biomédica ha crecido de manera positiva en Panamá, pero es importante realizar una revisión y posibles cambios a los programas académicos con la inclusión de infraestructura que incorpore laboratorios equipados y la posibilidad de incluir programas de posgrado en el área.



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

KEYWORDS:

Biomedical engineering, role of biomedical engineer, professional field in Panama.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the current status of the professional field of biomedical engineering in Panama through the analysis of its evolution in this country, the comparison of its current situation among other countries in Latin America and the valuation through surveys that show the level of satisfaction of qualified professionals in the field of biomedical engineering in Panama. The survey was conducted on a sample of 138 professionals. Based on the results, it was identified that the respondents are satisfied with the current role of the biomedical engineers in the Panamanian market place. However, they are not satisfied with the variety of job

offers and the current salary expectation based on academic degrees and years of experience. In addition, they declare the absence of opportunities for graduate studies and believe it is necessary to strengthen the academic offer through the provision of infrastructure with equipped laboratories that facilitate the learning process in students. Accordingly with the literature review and the opinion of professionals, it is concluded that the field of biomedical engineering has grown positively in Panama, but it is important to review and adopt possible changes to the academic programs with the inclusion of infrastructure that incorporates equipped laboratories and the possibility of including graduate programs in this area of knowledge.

INTRODUCCIÓN

Con el propósito de atender las múltiples necesidades en salud y de aprovechar los constantes desarrollos tecnológicos, los avances en tecnología aplicada a la medicina han crecido exponencialmente. Sin conocer mucho del tema y con el simple ejercicio de realizar una búsqueda en la web sobre “proyectos biomédicos” o “avances en biomedicina”, nos dejaría sorprendidos constatar la cantidad de proyectos desarrollados o llevándose a cabo en Latinoamérica y en el mundo. Igualmente, Panamá no se escapa de esta realidad; en los últimos años se ha presenciado el incremento de empresas biomédicas instalándose en Panamá, la creación de instituciones y laboratorios que lideran proyectos de investigación de índole internacional, aumento de la oferta académica en universidades públicas y privadas, y las opciones estatales para patrocinar estudios de grado en el extranjero (Batista, 2016).

De igual manera, como estos avances han abierto el panorama para que universidades nacionales incrementen su oferta académica incluyendo programas en el campo de la biomedicina, las obliga a mantenerse actualizadas en sus programas de estudio con profesores capacitados que permitan el entrenamiento adecuado de los egresados para que puedan ingresar en el mercado laboral.

Cada año aumenta el número de profesionales graduados de Ingeniería Biomédica egresados de universidades nacionales, o con grado de especialidad en Biomédica de

universidades en el extranjero, lo cual pone en manifiesto la importancia de tener programas académicos que respondan a esa necesidad, laboratorios equipados que faciliten el proceso de enseñanza-aprendizaje y el desarrollo de proyectos de investigación, opciones para estudios avanzados de postgrado y maestría, entre otros.

En este sentido, crecen las interrogantes relacionadas con las exigencias actuales del mercado laboral panameño en este campo, ¿están los programas académicos orientados de manera correcta?, ¿están los profesionales y por ende el sector privado y público preparado para los nuevos retos?, ¿cuál es el nivel de satisfacción actual de los profesionales biomédicos? Atendiendo a estas interrogantes, este estudio busca conocer el estado del campo profesional de la Ingeniería Biomédica en Panamá, así como en la Región de las Américas, y conocer el nivel de satisfacción de los profesionales que ejercen actualmente como ingenieros biomédicos y cuentan con idoneidad.

DESARROLLO

Actualmente en Panamá, el campo de la Ingeniería Biomédica está creciendo. En el ámbito académico, dos universidades nacionales, la Universidad Latina de Panamá y la Universidad Especializada de las Américas, ofrecen un programa de Licenciatura en Ingeniería Biomédica (Universidad Latina de Panamá, n.d.) (Universidad Especializada de las Américas, n.d.); y más recientemente, la Universidad Tecnológica de Panamá abrió un programa de Técnico en Ingeniería con Especialización en Electrónica Biomédica (Universidad Tecnológica de Panamá, n.d.). Adicionalmente, el estado promueve la especialización en esta área de estudio, a través de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) y convenios con embajadas internacionales, ofreciendo becas de estudio en diversas ramas de la ingeniería biomédica (SENACYT, n.d.).

Además, existen otros eventos que han aportado al crecimiento de este campo en Panamá como son, la creación del Capítulo Profesional IEEE de Ingeniería en Medicina y Biología (IEEE-EMB) de Panamá en 2008, la Rama Estudiantil IEEE-EMB-ULAT en 2009, la regulación formal de la carrera por la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos (SPIA) de Panamá y la formación de diversas organizaciones nacionales relacionadas a la carrera como: Asociación Panameña de Ingenieros Biomédicos (APIB), Asociación Nacional de Ingenieros y Técnicos en Electro Medicina (ANITEM) y la Asociación Panameña de Técnicos e Ingenieros Biomédicos Asociados (APTIBA) (Estrada & Ibarra, 2012).

Por otro lado, existen instituciones panameñas o establecidas en Panamá dedicadas a la creación y desarrollo de proyectos de investigación en biomedicina y sus ramas. Estos proyectos son financiados por instituciones nacionales o internacionales, un ejemplo es el caso del Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT), cuyo principal objetivo es “contribuir en la formación del recurso humano de excelencia en investigación y desarrollo aplicado a la biomedicina y otros campos de las ciencias relacionados” (INDICASAT AIP, n.d., Acerca de Nosotros, 1).

Con el mismo propósito, se han realizado conferencias y eventos como el “II Simposio Nacional e Internacional de Bioinformática, Biociencias y Bioingeniería en Panamá”, con el fin de incentivar el estudio de las ciencias en este país y generar sinergias entre grupos de investigadores locales e internacionales (Simposio B3, 2016). Otro ejemplo es la conferencia “Big Data en el sector médico” efectuada en mayo de 2017, cuyo objetivo fue “conocer los avances que se perfilan en Panamá en materia de Big Data y Salud” (Ciudad del Saber, 2017, Objetivo, 1).

Adicionalmente, Panamá, reafirmando sus esfuerzos de mantener colaboración con países vecinos en provecho del avance biomédico, forma parte activa de la “Red Centroamericana de Bioinformática” desde el 2011. Cuyo objetivo principal es desarrollar e implementar investigación en biomedicina; mantener una red cooperativa de intercambio, almacenamiento y procesamiento; y estimular la creación de cálculo bioinformático en nube. En donde en el caso del Nodo de Panamá, el aporte está centrado en bases de datos biológicas y taxonómicas, y caracterización de Sistemas de Información Geográficas (GIS; por sus siglas en inglés) (Sociedad Iberoamericana de Bioinformática, n.d.) (Red CLARA, 2012). Por otro lado, la promulgación de la Ley 64 de 3 de octubre de 2017 “Que reconoce la profesión de Biomédica” (Ley 64, 2017) coloca a la carrera como parte tanto del sector de salud como el de la ingeniería, y forma al Comité Técnico Biomédico conformándolo con representantes de las instituciones de salud (Ministerio de Salud (MINSAL) y Caja de Seguro Social (CSS)), las Asociaciones de Biomédicos, Consejo de Rectores de Panamá y Sociedad Panameña de Ingenieros y Arquitectos. Para muchos, esta ley representa un adelanto en cuanto a soporte legal, si se compara la carrera de Ingeniería Biomédica con otras Ingenierías.

Actualmente, existen tres ramas profesionales importantes que integran a ingenieros biomédico en Panamá (Estrada & Ibarra, 2012):

Instituciones de salud (hospitales y clínicas, públicas o privadas), en las que el profesional realiza tareas de soporte técnico, e implementación y administración de la infraestructura tecnológica de estas entidades.

Compañías comercializadoras de dispositivos médicos, con puestos de alto mando, consultoría, soporte técnico y administración de proyectos tecnológicos.

Entidades gubernamentales (MINSAL y CSS) orientadas a la autorización, regulación y registro, vigilancia y control de tecnología aplicada al campo médico.

Según el estudio publicado por (Estrada & Ibarra, 2012), 52% de los profesionales en ingeniería biomédica trabajan en instituciones de salud, 41% en compañías comercializadoras de dispositivos médicos y 7% en entidades gubernamentales. En promedio, el rango salarial en estas instituciones va de B/. 800.00 a B/. 1500.00 mensuales (Batista, 2016).

La ingeniería biomédica en Latinoamérica en comparación con Panamá

La Ingeniería Biomédica en Latinoamérica tiene cerca de 40 años de existencia. Los primeros programas académicos de Licenciatura fueron establecidos en México y

Colombia en la década de 1970 y en Argentina en 1985. Subsecuentemente, programas de grado para estudios superiores fueron creados en Venezuela, Brasil, Colombia, Cuba, Perú y Uruguay (OMS, 2014).

La cantidad de programas de Licenciatura y de grado de Biomédica y Bioingeniería ha incrementado de 50 a 60 desde el 2007. El número de países y universidades que ofrecen estos programas se muestran en la Tabla 1 (OMS, 2014).

Tabla 1

Cantidad de Instituciones Universitarias con programas de Ingeniería Biomédica.

Región de las Américas	
País	Cantidad de Universidades
Argentina	13
Bahamas	1
Barbados	1
Belice	2
Bolivia	4
Brasil	21
Canadá	34
Chile	2
Colombia	15
Cuba	3
Dominica	1
Ecuador	1
El Salvador	2
Estados Unidos de América	208
Granada	1
Guatemala	1
Guyana	1
Haití	1
Honduras	2
Jamaica	1
México	30
Panamá	2
Paraguay	1
Perú	5
República Dominicana	1
Trinidad y Tobago	1
Uruguay	1
Venezuela	3

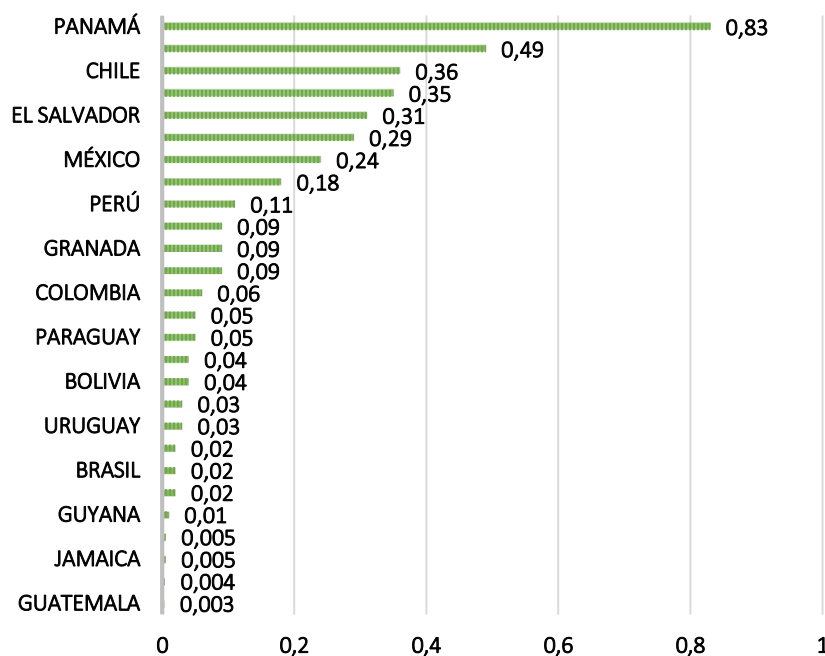
Fuente: OMS. "Human Resources for Medical Devices: The role of biomedical engineers" (2014).

En un principio, la educación académica en Bioingeniería y Biomédica en Latinoamérica estaba basada principalmente en electrónica y bioinstrumentación, dejando de lado el área de biomecánica y biomateriales. Es decir, la mayoría de las universidades preparaban a los profesionales para que se dedicaran a la instalación y mantenimiento de dispositivos médicos. En los últimos 5 años, sin embargo, este modelo ha evolucionado con cambios en las necesidades principales de la región y las nuevas tecnologías en el campo de la bioinformática, telemedicina neuronal, sistemas terapéuticos y la nueva tendencia de “internet de las cosas” en el cuidado de la salud que permite que los pacientes monitoricen sus propios datos de salud. Basados en estas situaciones, los programas de biomédica ahora incluyen nuevas áreas de interés para asegurar que los nuevos ingenieros tengan habilidades suficientes para crear nuevos diseños y desarrollar y mejorar nuevas soluciones médicas para el incremento de la calidad de vida de la población de la región (OMS, 2014). De acuerdo a la figura 1, si comparamos la cantidad de ingenieros biomédicos graduados por cada 10 000 habitantes en la Región de las Américas, Panamá supera la lista con una tasa de 0.83. Asimismo, en la figura 2 se muestra que, en la Región de las Américas, Panamá está entre los primeros de la lista de acuerdo a la densidad de hospitales con departamento de biomédica.

Por otro lado, es interesante resaltar que el estudio publicado por la OMS, indica que, de una muestra de 55, por cada 47 hombres profesionales del campo de la Ingeniería Biomédica en Panamá, hay 8 mujeres Ingenieras Biomédicas (OMS, 2014).

Figura 1

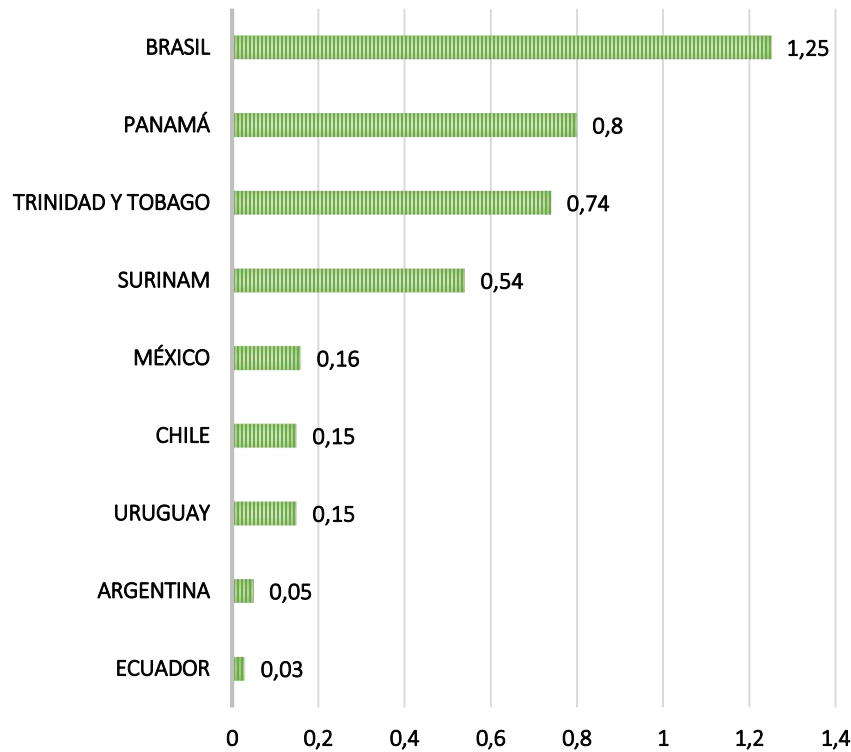
Tasa de Ingenieros Biomédicos graduados por cada 10 000 habitantes en la Región de las Américas de la OMS.



Fuente: Datos de encuestas ejecutadas por la OMS 2010-2014 (OMS, 2014).

Figura 2

Densidad reportada de hospitales con departamento de biomédica en la Región de las Américas de la OMS (n=54) (OMS, 2014).



Fuente: Datos fueron tomados de respuestas de la Encuesta Global – Enero 2014: “Professional and Academic Profiles on Biomedical Engineers and Technicians” publicado por la OMS (OMS, 2014).

MÉTODO

Para este estudio, el universo objeto de estudio son los profesionales de Ingeniería Biomédica en Panamá. Por consiguiente, la población y muestra se detallan como sigue.

Población: profesionales con idoneidad expedida por la Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura.

Muestra: Según la base de datos de la Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura (JTIA, n.d.), se tiene una población de 281 Ingenieros Biomédicos idóneos. La muestra fue calculada con una confiabilidad de 90%, probabilidad de éxito y fracaso de 0.5 cada una, porcentaje de error de 5%, resultando en una muestra de 138 profesionales. La tabla 2 muestra el cálculo realizado.

Tabla 2
Obtención de la muestra de profesionales

<p>Fórmula para cálculo de muestra finita:</p> $\frac{z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2 (N - 1) + z^2 p q}$	
<p>Datos:</p> <p>Para confiabilidad de 90%, $z = 1.64$ Probabilidad de éxito = $p = 0.5$ Probabilidad de fracaso = $q = 0.5$ Porcentaje de error = $e = 5\% = 0.05$ Población de profesionales = $N = 281$</p>	
<p>Cálculo para muestra de profesionales:</p> $\frac{(1.64)^2 (0.5)(0.5)(281)}{(0.05)^2 (281 - 1) + (1.64)^2 (0.5)(0.5)}$	<p>Muestra de profesionales:</p> <p>138</p>

Fuente: Montes y Cruz (2019)

Se aplicaron encuestas a esta muestra de profesionales de Ingeniería Biomédica. En todo momento la participación de los profesionales encuestados fue voluntaria, se garantizó la confidencialidad de sus opiniones y puntos de vista, así como sus nombres y datos personales.

Técnica e instrumentos de recolección de datos: para la recolección de datos se utilizan técnicas e instrumentos como revisión de documentos y encuestas.

Técnica de análisis de datos: los datos recolectados a través de revisión de documentos se analizaron por inferencia del contenido y gráficas comparativas que relacionan la carrera de Ingeniería Biomédica en Panamá y la Región de las Américas.

Para el análisis de los datos recolectados a través de encuestas, se usó herramienta estadística de base de datos. Estos datos fueron posteriormente analizados tomando como base las variables de la investigación, las cuales se muestran en la tabla 3. Posteriormente, se llevaron a cabo análisis estadísticos descriptivos de cada variable de la investigación, como distribución de frecuencias, medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y presentación de gráficas.

Tabla 3
Cuadro de variables de la investigación.

Variable	Descripción conceptual	Descripción operacional	Tipo de Variable / Escala de medición
Rol actual del Ingeniero (a) Biomédico en el mercado laboral panameño	Satisfacción es un estado del cerebro producido por una mayor o menor optimización de la retroalimentación cerebral, en donde las diferentes regiones compensan su potencial energético, dando la sensación de plenitud e inapetencia extrema.	5 = muy satisfecho 4 = satisfecho 3 = indiferente 2 = insatisfecho 1 = muy insatisfecho	Cualitativa / Ordinal
Programas de estudio universitarios en Panamá			
Cantidad de universidades que incluyen la carrera			
Profesores capacitados			
Variedad de oportunidades laborales en el mercado panameño			
Estabilidad profesional/laboral			
Oportunidades de estudios avanzados (Maestría, Doctorado) del área de Ingeniería Biomédica en universidades panameñas			
Avances en la reglamentación de la carrera			
Cantidad de ofertas laborales en el mercado panameño			
Salario competitivo acorde al grado educativo, años de experiencia y mercado			
Sexo	Sexo es el conjunto de peculiaridades que caracteriza a los individuos de una especie dividiéndolos en masculinos y femeninos.	F = 1 M = 2	Cualitativa / Nominal
Edad	Edad es el tiempo transcurrido a partir del nacimiento de un individuo.	---	Cuantitativa (Discreta) / Razón
Año en que se graduó de la carrera de Ingeniería Biomédica	Año en el que obtuvo el título de Ingeniería Biomédica.	---	Cuantitativa (Discreta) / Razón
Otros títulos obtenidos	Otros títulos de grados superiores que ha obtenido.	---	Cualitativa / Nominal

Fuente: Montes y Cruz (2019)

RESULTADOS

En base a las respuestas obtenidas por medio de la encuesta aplicada a una muestra de 138 profesionales idóneos de Ingeniería Biomédica, se presentan los siguientes resultados. La tabla 4 muestra el resumen.

Tabla 4
Resumen de encuestados.

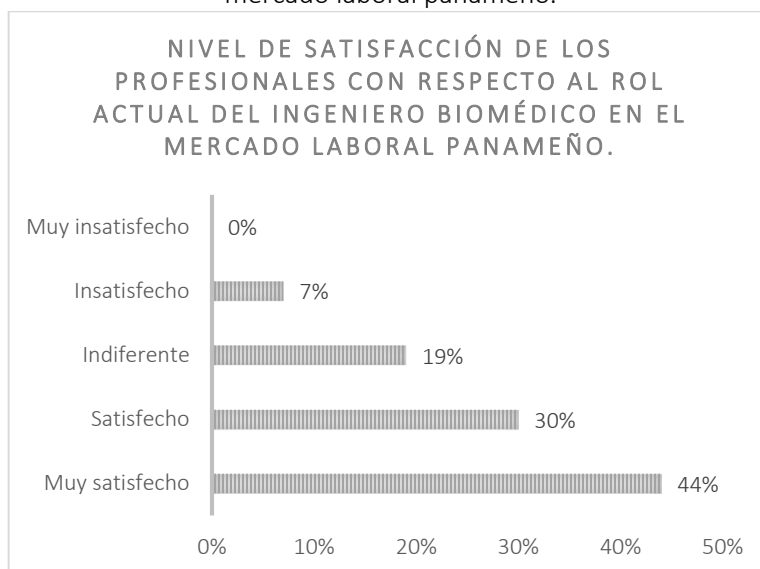
PROFESIONALES
Muestra: 138
Edad promedio: 29 años
Desviación estándar de la edad: 2.6
Cantidad de mujeres: 87
Cantidad de hombres: 51

Fuente: Montes y Cruz (2019)

La primera pregunta de la encuesta hace referencia al índice de satisfacción de los encuestados sobre el rol actual del Ingeniero Biomédico en el mercado laboral panameño. En este caso, más del 70% de los profesionales encuestados están muy satisfechos o satisfechos (ver grafica 1).

Grafica 1

Nivel de satisfacción de los profesionales con respecto al rol actual del Ingeniero Biomédico en el mercado laboral panameño.



Fuente: Montes y Cruz (2019)

Por otro lado, la pregunta 2 de la encuesta cuestiona el nivel de satisfacción acerca del contenido de los programas de estudio de la carrera de Ingeniería Biomédica, desde el punto de vista de los profesionales. En este caso, el 80% de los encuestados están insatisfechos o muy insatisfechos con los programas de estudio actuales, donde hicieron hincapié en la falta de laboratorios equipados que presenta tanto la Universidad Latina de Panamá como la Universidad Especializada de las Américas. Con el uso de estos laboratorios se pueda adquirir conocimiento electrónico, eléctrico, biomecánico, bioinformático o incluso de bioseguridad, los cuales son temas reales a los que estarán expuestos en el mercado laboral (grafica 2).

Grafica 2

Nivel de satisfacción de profesionales con respecto a los programas de estudio de la carrera de Ingeniería Biomédica.

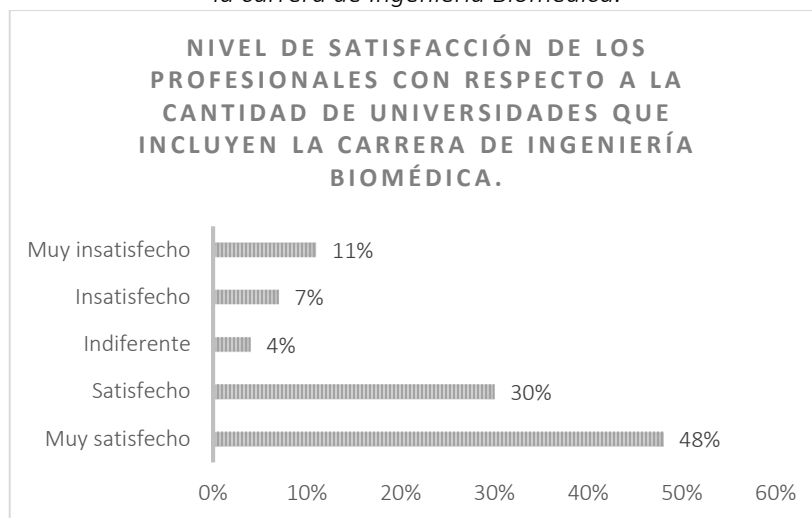


Fuente: Montes y Cruz (2019)

La pregunta 3 de la encuesta se refiere al nivel de satisfacción de los encuestados con respecto a la cantidad de universidades que incluyen la carrera de Ingeniería Biomédica. Aproximadamente el 78% de los profesionales están satisfechos (ver grafica 3). Los profesionales opinan que, si más universidades ofrecen esta carrera, eventualmente podría darse una saturación de profesionales buscando empleo.

Grafica 3

Nivel de satisfacción de los profesionales con respecto a la cantidad de universidades que incluyen la carrera de Ingeniería Biomédica.

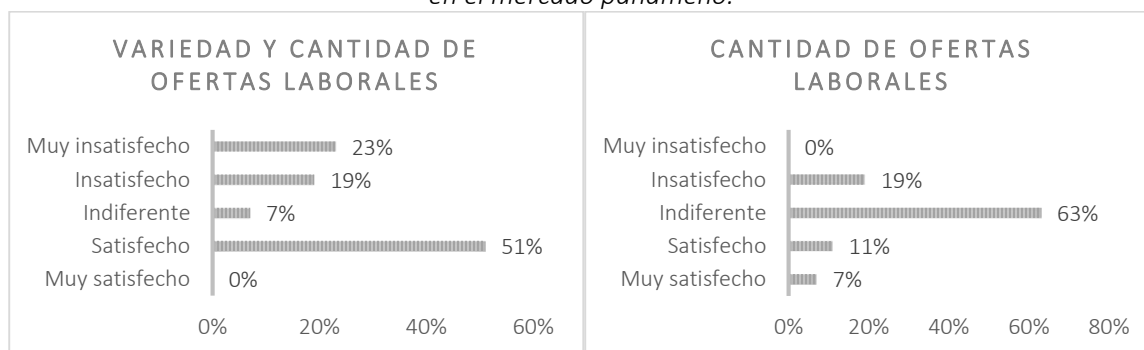


Fuente: Montes y Cruz (2019)

Las preguntas 5 y 9 de la encuesta buscan conocer el índice de satisfacción con respecto a la variedad y cantidad de ofertas laborales, respectivamente. El 51% de los profesionales encuestados están satisfechos con la variedad de ofertas laborales, y 63% se encuentran indiferentes con respecto a la cantidad de ofertas laborales. Sin embargo, todos los encuestados se encontraban laborando al momento de la encuesta (ver grafica 4).

Grafica 4

Nivel de satisfacción de los profesionales con respecto a la variedad y cantidad de ofertas laborales en el mercado panameño.

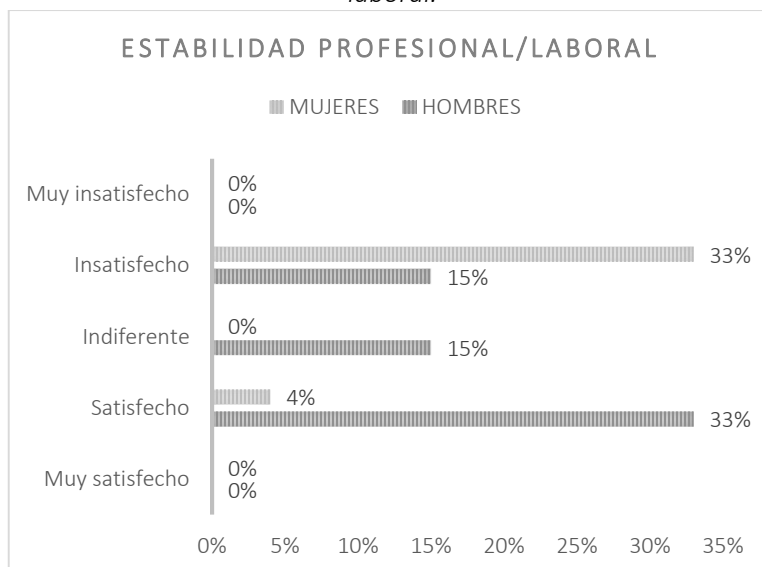


Fuente: Montes y Cruz (2019)

La pregunta 6 de la encuesta inquiriere sobre el índice de satisfacción de los encuestados con referencia a la estabilidad profesional laboral. Haciendo un análisis en cuanto a las respuestas por sexo, se obtiene que 33% de las mujeres profesionales encuestadas se encuentran satisfechas con su estabilidad laboral; sin embargo, 33% de los hombres profesionales encuestados están insatisfechos con su estabilidad laboral (ver grafica 5).

Grafica 5

Nivel de satisfacción de los profesionales por sexo con respecto a su percepción sobre la estabilidad laboral.



Fuente: Montes y Cruz (2019)

La pregunta 7, sobre la satisfacción en cuanto a oportunidades de estudios avanzados de maestría o doctorado en universidades panameñas, el 86% de los profesionales están insatisfechos o muy insatisfechos (ver grafica 6).

Grafica 6

Nivel de satisfacción de los profesionales con respecto a la oportunidad de alcanzar estudios avanzados en universidades panameñas.



Fuente: Montes y Cruz (2019)

Las respuestas a la pregunta 8 sobre la satisfacción con respecto a los avances en la reglamentación de la carrera en comparación con otras ingenierías, el 75% de los profesionales encuestados están muy satisfechos o satisfechos (ver grafica 7).

Grafica 7

Nivel de satisfacción de los profesionales sobre el avance en la reglamentación de la carrera en comparación con otras ingenierías

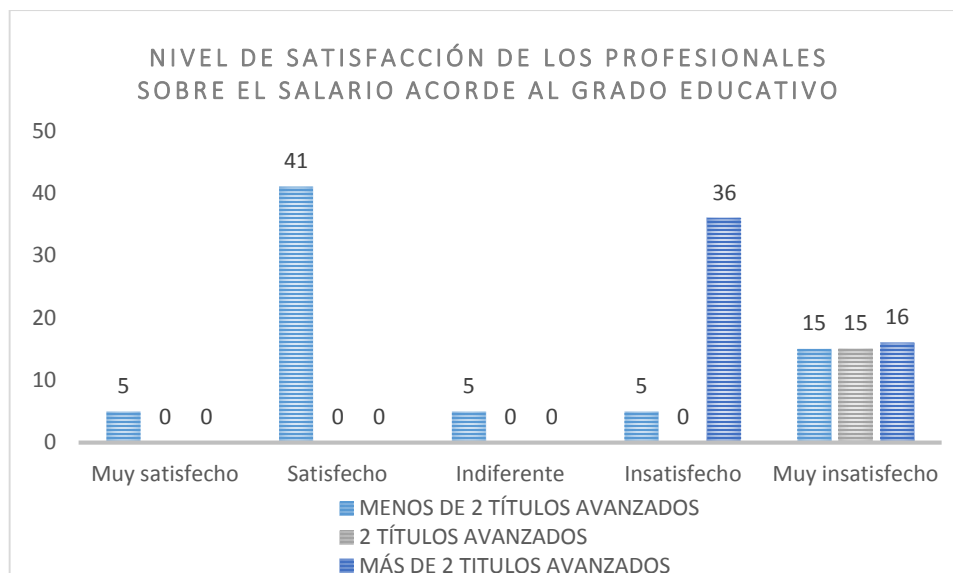


Fuente: Montes y Cruz (2019)

Con respecto a las respuestas de la pregunta 10 sobre el nivel de satisfacción de los profesionales sobre el salario acorde al grado educativo, hubo diferencia de opiniones. Un análisis más detallado de estas respuestas, en comparación con la cantidad de estudios avanzados de los profesionales, mostró que aquellos con más de 2 títulos están en su mayoría insatisfechos con la oferta salarial actual y aquellos con menos de 2 títulos están en su mayoría satisfechos (ver grafica 8).

Grafica 8

Nivel de satisfacción de los profesionales sobre el salario acorde al grado educativo



Fuente: Montes y Cruz (2019)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A pesar de que la carrera de Ingeniería Biomédica es relativamente nueva en Panamá, si se compara con los demás países de la región, la OMS la coloca como la primera en la lista de países con cantidad de Ingenieros Biomédicos por habitantes y la segunda con departamento de Biomédica en los hospitales (OMS, 2014). Estos datos indican un progreso en este campo y pronostica que esta área de conocimiento seguirá creciendo en Panamá, con sus bases de mejorar la calidad de vida de los seres humanos a través de la tecnología.

A partir de las respuestas obtenidas mediante la encuesta se puede determinar que en general, los profesionales titulados en Ingeniería Biomédica se encuentran altamente satisfechos con el papel que ejecutan actualmente en el mercado laboral panameño, con los avances de la reglamentación de la carrera y la cantidad de universidades que ofrecen la carrera en Panamá. Sin embargo, no están satisfecho con los programas de estudio actuales, las oportunidades para estudios avanzados de maestría y doctorado en Panamá y la competitividad salarial.

Por lo que, con base en sus opiniones es recomendable que las universidades y las autoridades correspondientes revisen su programa de estudio, incluyan laboratorios equipados, y se busque la posibilidad de incluir estudios avanzados de maestría y doctorado en el área. Además, las asociaciones de ingenieros biomédicos y/o Comité Técnico Biomédico deben negociar un salario base justo dependiendo de los estudios y años de

experiencia del personal, y seguir promoviendo la variedad de opciones de carrera profesional que incluyan áreas de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Batista, M. (14 de Julio de 2016). La ingeniería biomédica y la atención a la salud en Panamá. *La Estrella de Panamá*.

Estrada, L., & Ibarra, E. (2012). Biomedical Engineering, Support Model between Medicine and Technology in Panama. *10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, 1-9.

JTIA. (s.f.). *Buscar profesionales idóneos*. Obtenido de <https://www.jtiapanama.org.pa/index.php?f=cGFoMXA1LklzdGUkZDFhSmQwaV9lP24ybzBkYWkxXzVySW90ZCRhMWNKczB1X2I/>

Lara, B. (04 de Julio de 2017). Datos actuales: Licenciatura en Ingeniería Biomédica. (M. Montes, Entrevistador)

Ley 64. (3 de octubre de 2017). Que reconoce la profesión de Biomédica. Panamá, Panamá, Panamá.

OMS. (2014). Human Resources for Medical Devices: The role of biomedical engineers. *WHO Medical device technical series*, págs. 1-240.

Red CLARA. (18 de Marzo de 2012). Obtenido de Noticias destacadas: <https://www.redclara.net/index.php/noticias-y-eventos/noticias/destacados/1023-allan-orozco-director-de-la-red-centroamericana-de-bioinformatica-la-exploracion-bioinformatica-en-biodiversidad-ha-sido-muy-pobre-en-centroamerica-eso-debera-cambiar>

SENACYT. (s.f.). Obtenido de Convocatorias: <http://www.senacyt.gob.pa/convocatorias/>

Simposio B3. (2016). *Simposio B3*. Obtenido de <http://simposiob3.wixsite.com/iisimposiob3>

- Sociedad Iberoamerica de Bioinformática. (s.f.). *SoIBio*. Obtenido de Mapas:
<http://www.soibio.org/RedCentroamericanaDeBioinformatica/Mapa-RedCB.jpg>
- Universidad Especializada de las Américas. (s.f.). *UDELAS*. Obtenido de Oferta Académica:
<http://www.udelas.ac.pa/index.php/component/content/article/87-oferta-academica/151-ingenieria-en-biomedica-con-especializacion-en-electronica-medica>
- Universidad Latina de Panamá. (2017). *Información de Primer Ingreso: Licenciatura en Ingeniería Biomédica*. Panama.
- Universidad Latina de Panamá. (s.f.). *ULAT*. Obtenido de Planes de Estudio:
http://www.ulat.ac.pa/es/facultades/plan_estudios_lic.php?codigo_sede=001&facultad=004&carrera=206&enfasis=001
- Universidad Tecnológica de Panamá. (s.f.). *Oferta Académica*. Obtenido de Facultad de Ingeniería ELéctrica: <http://www.fie.utp.ac.pa/tecnico-en-electronica-biomedica>

LA CRIONICA Y LA NANOTECNOLOGÍA EN BUSCA DE LA INMORTALIDAD.

THE CRIONIC AND NANOTECHNOLOGY IN SEARCH OF IMMORTALITY

AUTORES: YAZMÍN DORATI MALDONADO¹, JOSUÉ OSES², GABRIEL POLANCO², CRISTÓBAL DE LEÓN²

¹Instituto de Logística y Cadena de Suministro. Universidad Latina de Panamá

²Licenciatura en Gestión de la Producción Industrial– Campus Central Víctor Levi Sasso– Universidad Tecnológica de Panamá.

Correos: ydcantu@ulatina.edu.pa

Recibido: 07 de noviembre de 2018

Aceptado: 14 de junio de 2019

Resumen

PALABRAS CLAVE:

*Criogenia,
Inmortalidad,
Nanotecnología,
Neuropreservación*

La Criónica consiste en preservar el cuerpo humano que ha muerto utilizando bajas temperaturas para en el futuro próximo reanimar el cuerpo mediante la administración de fármacos protectores. Para ello se aplica la temperatura hasta congelar el agua que conforman los tejidos, el cual se cristaliza, beneficiando la conservación pero con el riesgo de dañar a estos tejidos. Con la ayuda de la nanotecnología se podrán lograr grandes avances que contribuyan a compensar esa debilidad y tal vez alcanzar la inmortalidad de un cuerpo, siempre y cuando se mantenga en las condiciones deseadas. Los científicos aún tienen varios retos por alcanzar en este aspecto. En la actualidad existen aproximadamente 300 cuerpos criogenizados en espera para revivir. El presente documento es una revisión bibliográfica acerca de los avances acerca de este tema.



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

KEYWORDS:

*Cryogenics,
Immortality,
Nanotechnology,
Neuropreservation*

Abstract

The Cryogenic consists of preserving the dead human body using low temperatures for the near future to reanimate the body through the administration of protective drugs. To this end, the temperature is applied until the water that forms the tissues is frozen, which is crystallize, benefiting the preservation but with the risk of damaging these tissues. With the help of nanotechnology great advances can be made that contribute to compensate this weakness and perhaps achieve the immortality of a body, as long as it remains in the desired conditions. Scientists still have several challenges to achieve in this regard. Currently there are approximately 300 cryogenic bodies waiting to be revived. This document is a bibliographic review about the advances on this topic.

INTRODUCCIÓN

Desde su origen el hombre ha soñado con extender su vida lo más amplio posible y si la tecnología lo permite, tratará de alcanzar la anhelada inmortalidad. El problema está en que el cuerpo con el tiempo se va envejeciendo y deteriorando a tal punto que llega el momento en que deja de existir. Por ello se ha tratado de desarrollar una tecnología tendiente a la preservación del cuerpo físico: La Criónica o Crionización.

La Criónica consiste en la preservación de cuerpos a temperaturas muy bajas. Esta técnica aprovecha los tejidos compuestos en su gran mayoría por agua, que al ser enfriada se expande formando cristales que llegan a temperaturas muy bajas, pero como no está desarrollada cabalmente se corre el riesgo de que el tejido se rompa. Con la ayuda de la nanotecnología se podrán lograr grandes avances que contribuyan a compensar esa debilidad y tal vez alcanzar la inmortalidad de un cuerpo, siempre y cuando se mantenga en las condiciones deseadas.

La nanotecnología es un campo de las ciencias aplicadas dedicado al control y manipulación de la materia a una escala menor que un micrómetro, es decir, a nivel de átomos y moléculas (nanos materiales). Tal manipulación se produce en un rango de entre uno y cien nanómetros.

Los avances tecnológicos en esta materia benefician el uso de la criogenia, específicamente en la reparación molecular y en la regeneración de tejidos dañados como consecuencia de su uso.

Cabe mencionar las aclaraciones que se han realizado referente a la gran confusión que ha existido en los términos criónica y criogenia. Manifiesta CAS (Cryogenics Society of America, 2018) que la criogenia, que se ocupa de temperaturas extremadamente bajas, no tiene conexión con la criónica la cual sostiene la creencia de que el cuerpo o las partes del cuerpo de una persona pueden congelarse al morir, (Diekman, 2013) almacenarse en un recipiente criogénico y luego volver a la vida. Luego agregan: NO respaldamos esta creencia, y de hecho la consideramos insostenible.

Criogenia (Britannica, 2017) es el estudio científico o producción de temperaturas extremadamente bajas (inferiores a -150°C , 238°F o 123K), mientras que la criónica es la conservación a baja temperatura de los cuerpos humanos tras el cese de (Cryogenics Society of America, 2018) latidos cardíacos como una anticipación de la supervivencia futura.

Hay que recordar que la criogenia se utiliza para la congelación y conservación de productos alimenticios (Jawahir, 2016) y muestras biológicas, estas últimas almacenadas en seco en tanques criogénicos (Solution, s.f.) a base de nitrógeno líquido (Perinic, s.f.) que permite una temperatura que va desde -185° hasta -190° (Harris, 2003). Realmente la criónica es también una aplicación de la criogenia, pero las dos no son ciertamente la misma.

Antecedentes

Fue en la década de los sesenta del siglo XX cuando Robert Ettinger y Nathan Duhring, pseudónimo de Evan Cooper, formularon la Teoría de la Criogenización con la que pusieron de manifiesto que un ser vivo, tras fallecer y ser congelado, podría llegar a ser revivido. (Lebrun, 2007)

Desde ese momento hasta comienzos del siglo XXI, la ciencia ha logrado controlar el proceso de congelación, aunque no ha conseguido reparar los daños que causa su estado sobre los organismos vivos. Científicos afirman (Runge, 2019) que mediante la nanotecnología y nanoreparación se podrá arreglar a nivel molecular los tejidos dañados, y otros perjuicios ocasionados por el propio fallecimiento (Breth, 2018).

En el caso de animales los científicos encontraron que Las ranas de la madera originarias de Alaska permanecen congeladas durante el invierno, el cual alcanza temperaturas a los -20°C . Seis meses después, con la llegada del verano, estos animales se descongelan y “resucitan” con mejor una apariencia (Netburn, 2014). Cuando las células se congelan se secan y mueren, para prevenir eso, las ranas embalan sus células con glucosa que reduce el secado y estabiliza las células que los científicos llaman crioprotección.

Brent Sinclair, (Chapman, 2016) profesor asociado en el Departamento de Biología de la Universidad de Wester ha estudiado a algunos artrópodos (larvas de oruga peluda, la mosca de oro, entre otros) que se congelan en el invierno y vuelven a la vida en el verano. La razón por la que el proceso de congelación no daña los tejidos del cuerpo es que cuando comienza a formarse el hielo en la sangre del insecto, expulsa todos los azúcares y el agua, haciendo a la sangre más concentrada y las células secas (Kanchwala, 2019). Por lo tanto, lo que el insecto ha hecho es que ha convertido un problema de congelación en un problema de deshidratación (Fenton, 2016).

De acuerdo a esos hallazgos se puede entender la criogenización, como la técnica que permite mantener un cuerpo legalmente muerto, tanto humano como animal, bajo

condiciones de cuasi-congelación a fin de que en un “momento oportuno”, se pueda reanimar con la esperanza de que inicie una nueva vida, posiblemente, eliminando o atenuando en gran medida, las causas que causaron su muerte pasada (Bermejo, 2017).

El proceso se inicia (Ciencia., 2006) cuando se certifica la muerte del paciente y lo primero que se hace es reemplazar la sangre por varias dosis inyectable de crioprotectores, una sustancia química llamada glicerol, con el que se evitaría que las células del mismo se congelen. Los cuerpos se refrigeran primero en baños de hielo para reducir lentamente la temperatura y se sumergen en nitrógeno líquido a -196° Celsius. El objetivo es detener toda actividad biológica.

Formas de crionización

La crionización se puede llevar a cabo de dos formas distintas:

- ❖ De cuerpo entero: La persona sin vida es introducida en el tubo Dewar y se somete al nitrógeno líquido dejando que este actúe como conservante de todo el organismo para que se conserve a largo plazo (BBC, 2013).
- ❖ Neuro-preservación: se somete al proceso de crionización sólo el cerebro y la cabeza del paciente separado del resto del cuerpo, que luego sería implantada, mediante técnicas avanzadas de clonación, a un nuevo cuerpo (Dvorsky, 2018). Los defensores de esta opción aducen que, además de ser éste la parte vital a preservar es más económico y más fácil de trasladar (Knapton, 2017). Existen actualmente unos 80 entre cerebros y cabezas congeladas.

La Nanotecnología y sus aplicaciones en la crionización

Norio Taniguchi en el año 1974 fue el primero en utilizar el concepto “Nanotecnología”, más no el primero en incursionar en este campo ya que el profesor Richard Feynman fue el que se adentró primeramente en esta nueva tecnología y fue considerado como el padre de la nanotecnología (Bumiller, 2007). En su conferencia de 1959 titulada “Hay mucho espacio en la parte inferior” (There’s Plenty of Room at the Bottom) explica la probabilidad de que los átomos puedan ser manipulados directamente (Ganguly & Mukhopadhyay, 2011). Feynman evoca un posible campo de investigación que entonces era inexplorado: lo extremadamente pequeño, el mundo de la nanoescala (Bruce, 2007).

Según la Real Academia Española la Nanotecnología (Español, 2019) es la tecnología de los materiales y de las estructuras en la que el orden de magnitud se mide en nanómetros, (Drexler, 1992) con aplicación a la física, la química y la biología. De acuerdo a (FAO, 2012) define Nanotecnología como el diseño, producción y aplicación de estructuras, dispositivos, sistemas y materiales mediante el control del tamaño y la forma de los materiales a escala atómica y molecular y tiene su aplicación en diferentes campos.

Algunas de las ventajas de esta tecnología son (Diario Financiero, 2013):

- Las herramientas y el diagnóstico quirúrgico serán más elegante y más barato
- La investigación y el diagnóstico será más eficiente. (Velazquez, 2012)
- Pequeños dispositivos médicos para monitoreo se pueden implantar de forma permanente.
- Más problemas médicos se pueden prevenir.
- Las nuevas enfermedades se podrían detener rápidamente.
- El diagnóstico y el tratamiento pueden ser semi-automáticos.

Algunas desventajas son (Edwards, s.f.):

- Nanotecnología sería extremadamente poderoso y podría conducir a una carrera armamentista peligrosamente inestable
- La producción poco costosa y la duplicidad de diseños podría llevar a grandes cambios en la economía.
- La sobre explotación de productos baratos podría causar importantes daños al medio ambiente.
- Daños ambientales o riesgos para la salud de los productos no regulados
- El mercado negro en nanotecnología
- Las soluciones sencillas no tendrán éxito. Es improbable encontrar la respuesta adecuada a esta situación sin entrar antes en un proceso de planificación meticulosa.

Aplicación de la Nanotecnología en la medicina

Con nanorobótica médica se podrán realizar, en tiempo real reparaciones internas específicas de células individuales, eliminando en gran medida la muerte biológica natural (Criogenia.org, 2008).

La nanomedicina es la aplicación de la nanotecnología en el campo de la medicina, incluyendo de igual modo la futura aplicación de la nanotecnología molecular, y es empleada para mejorar la calidad de vida de los seres humanos, combatiendo las enfermedades de una forma innovadora. (Paddock, 2012)

De acuerdo a (Freitas, 2011) la nanotecnología es:

- 1) El monitoreo, control, construcción, reparación, defensa y mejora integral de todos los sistemas biológicos humanos, trabajando desde el nivel molecular, utilizando nanodispositivos y nanoestructuras diseñadas.
- 2) La ciencia y la tecnología para diagnosticar, tratar y prevenir enfermedades y lesiones traumáticas, para aliviar el dolor y para preservar y mejorar la salud humana, mediante el uso de herramientas moleculares y el conocimiento molecular del cuerpo humano.

3) El empleo de sistemas de máquinas moleculares para abordar problemas médicos, utilizando el conocimiento molecular para mantener y mejorar la salud humana a escala molecular”.

El objetivo de la nanomedicina es el diagnóstico, terapia y prevención de enfermedades cuando todavía están poco avanzadas, así como el desarrollo de una medicina más personalizada (Morigi, 2012).

La primera de las aplicaciones de la nanomedicina es el nanodiagnóstico. Este pretende identificar las enfermedades en sus estadios iniciales mediante el uso de nano partículas. Este método de diagnóstico está aún en fase de experimentación animal, pero si pasa todas las fases de estudio se podrá emplear en humanos, con todo el impacto tanto social, sanitario y económico que esto conlleva (Nanowerk, s.f.).

Otra de las aplicaciones posibles es la nanoterapia. La base de esta nanoterapia es parecida a la de nanodiagnóstico: el fármaco está en el interior de una partícula que en su superficie tiene receptores específicos para que se dirija de forma directa al lugar de interés y solo allí se libere el fármaco. (Tabero, 2019)

Por último, la nanomedicina regenerativa se quiere aplicar a la ingeniería de tejidos, es decir, para la regeneración de ciertos tejidos dañados por diferentes causas (quemaduras, mutilaciones...) y la regeneración celular. Para ello se pretenden diseñar estructuras que favorezcan el crecimiento de tejidos en una zona determinada y también regenerar a nivel celular (Lechuga, 2008).

Herramientas Utilizadas en la nanotecnología

La mayor herramienta utilizada en esta rama de la ciencia son los llamados nanorobots, también llamado algunas veces nanoagente (nanoagent), hace referencia (Song, 2018) a una imaginaria máquina o "robot nano" de una escala de pocos centenares de nanómetros construido para tareas específicas (destruir células cancerígenas, recoger radicales o reparar el daño sufrido en los tejidos celulares). (Zhang, 2018) Los nanobots tendrían conceptualmente la capacidad de autoreplicarse así mismos. El prototipo de modelos para la mayoría de estos conceptos son células específicas (ejemplo fagocitos que ingieren materia externa) y maquinarias moleculares celulares (proceso de autoreproducción del ADN).

En el caso de la reparación de células del corazón se han nanotubos de carbono que reaccionan a la estimulación eléctrica (Williams, 2014). Se han empleado nano materiales para crear células con las características de “progenitores cardíacos” un tipo especial de célula cardíaca, a partir de células madre adultas. Las propiedades eléctricas de los nano materiales provocaron una respuesta en las células madre adultas extraídas de la médula espinal (Medicina21, 2012). El estudio manifiesta que el contacto con los nanos materiales “electrificó” a las células madre, lo que hizo que estas se “metamorfoseasen” en células similares a células cardíacas.

La Nanotecnología y la Crionización.

Los críticos manifiestan su oposición e incredulidad, hacia la esperanza de la “vida eterna”, esta esperanza está en la técnica de la crionización y la ayuda regenerativa de la nanotecnología. Las personas que no apoyan esta idea denominan al grupo de científicos que trabajan en este estudio como “los inmortalistas” (Wood, 2017).

Clive Coen, (Lawrie, 2018) profesor de neurociencia en King's College de Londres, sugiere que la aplicación de técnicas criogénicas validadas al cerebro o al cuerpo entero está condenada al fracaso. Eso es así porque la aplicación de anticongelante durante el proceso de preservación no llega a todo el cerebro y sería imposible descongelar cada parte del cuerpo al mismo tiempo.

Unos de los críticos fue el biólogo Arthur Rowe que dijo; “Pensar que la criónica puede reanimar a alguien que ha sido congelado, es como creer que pueden retornar la hamburguesa a la vaca”.

Los inmortalistas sustentan su convencimiento en las promesas de la nanotecnología, la biotecnología y la criogenización. También alegan para defender su idea que esta práctica se trata de pacientes, no de cadáveres.

Uno de los padres de esta técnica experimental, Robert Ettinger, que fue profesor de Física en el Hagland Park College de Detroit y autor de Perspectiva de la inmortalidad, dijo que la muerte era, de momento, una enfermedad sin tratamiento (Ettinger, 2002).

Francisco Roldán, de la Asociación Iberoamericana de Criopreservación, en proceso de constitución, antes Sociedad Española de Criogenización (SEC) dice que la crionización, trata de utilizar el frío para preservar las estructuras de los seres vivos una vez que una persona ha sido declarada clínicamente muerta. Hay quien lo confunde con la congelación o hibernación, pero se diferencia de está en que el cuerpo llega a alcanzar una temperatura inferior a -120°C bajo cero (La Razón 2.0, 2011).

Explicando un poco el proceso, Francisco Roldan dice que consistirá en restaurar mecánicamente la circulación y la respiración del paciente, administrándole fármacos protectores mediante la ayuda de la nanoterapia y enfriándolo rápidamente. En contradictoria especialistas del tema dicen que esta técnica, es muy experimental en humanos debido a que por el momento no se ha conseguido devolver a la vida a ningún mamífero (La Razón 2.0, 2011).

Pero el Biólogo Molecular Jaime Lagunez, recuerda los experimentos del científico japonés, Isamu Suda, con cerebros de gatos «donde se consiguió recuperar las funciones neurofisiológicas después de semanas de congelamiento (Britto, 2004). Este experimento da a conocer que es muy probable y posible devolver a la vida a un ser humano. Resaltando que esto se dio hace cerca de medio siglo.

Debatiendo un poco más expertos en el tema originarios de España dicen que este pensamiento de los inmortalistas será totalmente efectivo cuando las tecnologías que están proyectadas se desarrollen y se pueda elevar progresivamente la temperatura a las personas criopreservadas, cuando se elimine el crioprotector, cuando se repararen los tejidos, se traten las enfermedades y, si se requiere, se rejuvenecerá al individuo (Gorgio, 2013).

En este caso, los inmortalistas confirman estos enunciados ya que pretenden utilizar la Nanomedicina, que se basa en la reparación molecular, que en conjunto con la computación avanzada, permitirá el control minucioso del crecimiento celular, y la regeneración de tejidos (Klein, 2003) .

Para defender sus principios en la Conferencia sobre Extensión de la Vida celebrada en Atlanta (EE UU) el «Immortality Institute» reveló una Carta Abierta firmada por unas 60 personas que abarcan todas las disciplinas relevantes a la criónica, incluyendo Biología, Criobiología, Neurología, Ciencias Físicas, Nanotecnología y Computación, Ética y Teología, respaldando los fundamentos científicos de la criónica (Alonso, 2011).

Casos de criogenización

En todo el mundo se calcula que hay 300 personas que se han sometido a criopreservación después de que morir con la esperanza de que puedan ser revividos con la tecnología futura (Campillo, 2018). Entre los casos más importantes están:

- ❖ La pequeña Matheryn Naovarapong, (El Universal, 2015) de tan solo 2 años, fue crionizada bajo la decisión de sus padres y gracias a los servicios de la empresa Alcor. Matheryn había sido declarada oficialmente muerta por culpa de un tumor cerebral que acabó con su vida horas antes.
- ❖ El personaje más conocido que ha sido criogenizado fue el deportista Ted Williams (Píquer, 2002). El famoso jugador de béisbol que falleció apenas comenzado el siglo XXI y cuyo tratamiento por parte de la empresa Alcor se vio envuelto en la controversia.
- ❖ Recientemente, la criónica volvió a ser noticia a raíz del caso de una niña de 14 años que consiguió el permiso de un juez en Londres para ser trasladada a EE. UU. y ser criogenizada. "No quiero ser enterrada bajo tierra. Quiero vivir y vivir más tiempo, y creo que en el futuro pueden encontrar una cura para mi cáncer y despertarme", explicaba la niña en una carta (Actualidad RT, 2016).

CONCLUSIONES

La criogenización es una técnica que aplica temperaturas muy bajas cercanas a -120°C con la idea de paralizar al organismo durante cierto tiempo y en algún momento se procede a un cuidadoso descongelamiento, y al menos en teoría, asegurar que ninguna de sus

funciones ni órganos sufra daños para insertarlo de nuevo a la vida y sanar cualquier enfermedad que haya sufrido.

Para que esto se lleve a cabo, por lo menos de la forma mencionada, se utiliza la nanotecnología.

La nanotecnología y la criogenización van de la mano ya que se necesita el perfeccionamiento de ambas para concretar la esperanza y la idea de los científicos para la extensión de la vida e incluso conseguir la inmortalidad. La criogenización aportará de manera importante en la preservación del cuerpo, pero la encargada de la regeneración de cualquier tipo de daño, enfermedad será la nanotecnología. Incluso se puede llegar con los avances adecuados al rejuvenecimiento de un cuerpo criogenizado.

Existen críticos y a su vez personas que defienden la idea de la inmortalidad a través del uso de la nanotecnología y la criogenización. Es importante mencionar que ya existen avances que apoyan a la idea de los llamados “inmortalistas”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Actualidad RT. (18 de Noviembre de 2016). "Volveré en 200 años": Una menor de 14 años será criogenizada tras una histórica batalla legal. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://actualidad.rt.com/actualidad/223930-menor-criogenizada-reino-unido-cancer>

Alonso, E. (2 de Octubre de 2011). *Criopreservación*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de https://www.bioeticacs.org/fundacionBioetica/gabinetePrensa/pdf/2011/La_Razon.pdf

BBC, S. (15 de Agosto de 2013). Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <http://www.bbc.co.uk/science/0/23695785>

Bermejo, C. (27 de Mayo de 2017). *Historia Criogenización, caso Bermejo*. Recuperado el 2019 de Junio de 10, de <http://www.bbc.co.uk/science/0/23695785>

Breth, S. (30 de Noviembre de 2018). *Cryogenics and Nanotechnology - How Do They Work Together?* Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5088>

Britannica, E. (26 de Mayo de 2017). *The Cryogenics*. (E. E. Britannica, Productor) Recuperado el 10 de Junio de 2019, de <https://www.britannica.com/science/cryogenics>

- Britto, J. (28 de Abril de 2004). *CCCCH*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de Despiden injustamente a un científico: <http://www.angelfire.com/dragon/mexicoaldia/despido.htm>
- Bruce, C. (2007). *Cheiron*. Recuperado el aa de Junio de 2019, de <http://cheiron2007.spring8.or.jp/pdf/Cowie.pdf>
- Bumiller, M. (2007). *Explore the Future*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <http://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Scientific/Documents/PSA/AP003.pdf>
- Campillo, S. (19 de Diciembre de 2018). Más de 300 personas se han criogenizado esperando resucitar en el futuro, pero nadie ha demostrado que esto sirva para algo. *Medicina y Salud*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://www.xataka.com/medicina-y-salud/300-personas-se-han-criogenizado-esperando-resucitar-futuro-nadie-ha-demostrado-que-esto-sirva-para-algo>
- Chapman, L. (4 de Enero de 2016). *Insectos que se congelan y vuelven a la vida, el sueño de los humanos*. (RCI. Radio Canadá) Recuperado el 22 de Mayo de 2018, de <http://www.rcinet.ca/es/2016/01/04/insectos-que-se-congelan-y-vuelven-a-la-vida-el-sueno-de-los-humanos/>
- Ciencia., X. (22 de Febrero de 2006). *XatakaCiencia*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de Criogenización, el arte del congelado humano: <https://www.xatakaciencia.com/biologia/criogenizacion-el-arte-del-congelado-humano>
- Criogenia.org. (2008). *La conquista científica de la muerte*. Libros en Red. Obtenido de <https://books.google.com.pa/books?id=Jm4UVDeR2vgC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Cryogenics Society of America. (24 de marzo de 2018). *Cryogenics Society of America*. (CAS) Recuperado el 16 de Mayo de 2018, de <https://www.cryogenicsociety.org/cryonics/>
- Diario Financiero. (1 de Junio de 2013). *Nanotecnología en la Industria*. Recuperado el junio11 de 2019, de <https://nanotecnologiaenlaindustria.wordpress.com/2013/06/01/ventajas-y-desventajas-de-la-nanotecnologia/>

- Diekman, F. (2013). *What is Cryogenic Processing?* Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://ctpcryogenics.com/asm-article-deep-cryogenic-treatment/>
- Drexler, K. E. (1992). *Nanosistemas: Maquinaria Molecular, Fabricación y Computación*. New York: John Willey and Son.
- Dvorsky, G. (14 de Marzo de 2018). *Gizmodo*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de New Brain Preservation Technique Could Be a Path to Mind Uploading: <https://gizmodo.com/new-brain-preservation-technique-could-be-a-path-to-min-1823741147>
- Edwards, C. (s.f.). *Advantages & Disadvantages of nanotechnology*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de Small Business Chron: <https://smallbusiness.chron.com/advantages-disadvantages-nanotechnology-37398.html>
- El Universal. (20 de Octubre de 2015). Mundo. *Agradecemos tu interés en nuestros contenidos, sin embargo; este material cuenta con derechos de propiedad intelectual, queda expresamente prohibido la publicación, retransmisión, distribución, venta, edición y cualquier otro uso de los contenidos (i*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/mundo/2015/10/20/la-nina-de-2-anos-que-fue-congelada-para-que-vuelva-vivir>
- Español, R. A. (2019). *Que es nanotecnología*. Madrid: RAE.
- Estrada, J. G. (Octubre de 2009). Climate and organizational culture: two essential components in the working productivity. *ACIMED v.20 n.4*, 12. Recuperado el 20 de Julio de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009001000004
- Ettinger, R. (2002). *Settleretics*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de La perspectiva de la inmortalidad: <http://settleretics.ru/es/colegas-de-trabajo/articulos-colegas/140-perspektivy-bessmertija-jettindzher-robert-ch-v>
- FAO. (2012). *Nanotecnologías*. Italia: Fao. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/a-z-index/nano/es/>

- Fenton, S. (16 de Enero de 2016). *Independent*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://www.independent.co.uk/news/science/scientists-have-successfully-revived-an-animal-frozen-30-years-ago-a6816656.html>
- Freitas, R. (6 de Noviembre de 2011). *BetterHuman*. Recuperado el 11 de Junio de 2011, de Nanomedicine, Volume 1: Basic Capabilities: <http://web.archive.org/web/20030502070407/http://betterhumans.com/Store/Books/Nonfiction/book.aspx?articleID=2002-12-13-3>
- Ganguly, S., & Mukhopadhyay, S. (2011). Nano Science and Nanotechnology: Journey from Past to Present and Prospect in Veterinary Science and Medicine . *International Journal of NanoScience and Nanotechnology*, 2(1), 79 - 83. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/235983426_Nano_Science_and_Nanotechnology_Journey_from_Past_to_Present_and_Prospect_in_Veterinary_Science_and_Medicine
- Gorgio, S. P. (2013). *Lavanguardia*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de Congelar células: <https://www.lavanguardia.com/autores/piergiorgio-sandri.html>
- Harris, R. (11 de Julio de 2003). *National Institute of Standards and Technology*. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de <https://www.nist.gov/publications/cryogenic-electronics-measurements-and-standards>
- Jawahir, G. e. (2016). Cryogenic manufacturing processe. *ScienceDirect*, 65(2), 713-736. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.007>
- Kanchwala, H. (10 de Febrero de 2019). *Science ABC*. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de What Is Cryogenics? What Are The Applications Of Cryogenics?: <https://www.scienceabc.com/innovation/cryogenics-applications-cryogenics.html>
- Klein, B. (3 de Marzo de 2003). *La inmortalidad física se convierte en una especulación práctica*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de Megatendencias: https://www.tendencias21.net/La-inmortalidad-fisica-se-convierte-en-una-especulacion-practica_a120.html
- Knapton, S. (27 de Abril de 2017). *New Science*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de Cryogenically frozen brains will be 'woken up' and transplanted in donor bodies within three years, claims surgeon:

<https://www.telegraph.co.uk/science/2017/04/27/cryogenically-frozen-brains-will-woken-transplanted-donor-bodies/>

La Razón 2.0. (25 de Septiembre de 2011). *La Razón 2.0*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de Criopreservación: https://www.larazon.es/historico/320-criopreservacion-PLLA_RAZON_400045

La Razón 2.0. (24 de Diciembre de 2011). *La Razón 2.0*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de https://www.larazon.es/historico/320-criopreservacion-PLLA_RAZON_400045

Lawrie, E. (24 de Marzo de 2018). ¿Son los técnicos en criónica que congelan a los muertos una clave para la inmortalidad de los seres humanos? *BBC Mundo*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-43426494>

Lebrun, P. (Enero de 2007). *ORGANIZACIÓN EUROPEA PARA LA INVESTIGACIÓN NUCLEAR Laboratorio de Física de Partículas. CERN, Departamento de Tecnología de Aceleradores 18 de enero de 2007*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/44217599_An_Introduction_to_Cryogenics

Lechuga, L. (2008). La revolución de la nanomedicina. *Sedisa*, 10, 38 - 43. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de La revolución de la nanomedicina: http://digital.csic.es/bitstream/10261/27998/1/038_043_Articulo_05.pdf

Medicina21. (21 de Septiembre de 2012). Emplean nanotecnología para regenerar células cardíacas. *Medicina21*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://www.medicina21.com/Actualidad-V3594.html>

Morigi, V. e. (7 de Marzo de 2012). *PMC*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de Nanotechnology in Medicine: From Inception to Market Domination: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3312282/>

Nanowerk. (s.f.). Recuperado el 11 de Junio de 2019, de Nanotechnology in Medicine (Nanomedicine): <https://www.nanowerk.com/nanotechnology-in-medicine.php>

Netburn, D. (24 de Julio de 2014). *Science Now*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de In Alaska, wood frogs freeze for seven months, thaw and hop away:

<https://www.latimes.com/science/sciencenow/la-sci-sn-alaskan-frozen-frogs-20140723-story.html>

Paddock, C. (4 de Mayo de 2012). *Medical News Today*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de Nanotechnology In Medicine: Huge Potential, But What Are The Risks?: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/244972.php>

Perinic, G. .. (s.f.). *Introduction to Cryogenics Engineering*. (University, Stanford) Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://www.slac.stanford.edu/econf/C0605091/present/CERN.PDF>

Piquer, I. (11 de Julio de 2002). El héroe congelado. *El País*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de https://elpais.com/diario/2002/07/11/ultima/1026338401_850215.html

Runge, E. (15 de Febrero de 2019). *Insights from the Industry*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5145>

Solution, T. L. (s.f.). *Tanques criogénicos para criopreservación y almacenaje de muestras "en ambiente seco" -190°C*. Recuperado el 22 de Mayo de 2018, de <http://www.telstar-lifesciences.com/representadas/criogenia/tanques%20criogenicos%20para%20criopreservacion%20y%20almacenaje%20de%20muestras%20en%20ambiente%20seco%20-190c.htm?language=es>

Song, X. e. (26 de Octubre de 2018). Enhancing Antitumor Efficacy by Simultaneous ATP-Responsive Chemodrug Release and Cancer Cell Sensitization Based on a Smart Nanoagent. *Advanced Science*, 5(12). Recuperado el 11 de junio de 2019

Tabero, A. (2019). *Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de Nanoterapias en el campo de la Biomedicina: <https://www.sebbm.es/revista/index.php>

Velazquez, L. (2012). *Nanotecnología*. (Beneficios de la nanotecnología) Recuperado el 2 de Mayo de 2018, de <https://informanotecnol.wordpress.com/aspectos-importantes/beneficios-a-la-nanotecnologia/>

- Warr, P. (01 de septiembre de 2013). Fuentes de felicidad e infelicidad en el trabajo: una perspectiva combinada. (ELSEVIER, Ed.) *University of Sheffield. Reino Unido*.
- Williams, M. (23 de Septiembre de 2014). Carbon Nanotube Patches Improve Heart Function. *Scitechdaily*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://scitechdaily.com/carbon-nanotube-patches-improve-heart-function/>
- Wood, D. (2017). *La abolición del envejecimiento: La radical extensión de la longevidad saludable humana que está por venir*. (L. Books, Ed.) Madrid.
- Zhang, T. T. (2018). A redox-activated theranostic nanoagent: toward multi-mode imaging guided chemo-photothermal therapy†. *Chemical Science*, 9(33). Recuperado el 11 de junio de 2019, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6114999/>

REINVENTANDO LA AUDITORÍA: EL IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS EN LA AUDITORÍA INTERNA

REINVENTING THE AUDIT: THE IMPACT OF DISRUPTIVE TECHNOLOGIES IN INTERNAL AUDIT

AUTOR: NAPOLEÓN IBARRA

DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD LATINA DE PANAMÁ, DAVID, CHIRIQUÍ, PANAMÁ

Correo: naepoleoni@gmail.com

Recibido: 21 de noviembre de 2018

Aceptado: 23 de mayo de 2019

Resumen

PALABRAS CLAVE:

*Auditoría Interna,
Tecnologías
Disruptivas,
Innovación,
Negocios, Valor,
Riesgos, Ágil.*

La Auditoría interna es una actividad considerada independiente, dentro de una organización que permite el análisis de los libros contables, procesos, operaciones internas y/o externas que permiten a la gerencia la toma de decisiones. El objetivo de esta investigación es crear un antecedente en cuanto a la importancia y relevancia de la auditoría interna dentro de una organización. Se utilizará un tipo de investigación exploratoria para identificar los puntos clave que se deben tomar en cuenta para el uso de la misma.

Dos autores relevantes que hablan sobre el uso de estas tecnologías emergentes son George Veletsianos (2010) y Chistensen Horn – Johnson (2010). La misma agrega una precisión a alcance de los objetivos de la organización en relación al cumplimiento de sus responsabilidades, su análisis de manera obvia a las actividades que se desarrollan, permitiendo una mejor productividad, eficiencia y eficacia. A su vez tiene un incidencia en las tecnologías disruptivas debido a que permite la adaptación de nuevos métodos o tecnología en los procesos de auditoría interna que conllevan a la mejora de procesos, en este sentido, destaca la capacidad de observación como elemento fundamental para innovar.



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

KEYWORDS:

*Internal Audit,
Disruptive
Technologies,
Innovation,
Business, Value,
Risks, Agile.*

Abstract

Internal Audit is an activity considered independent, within an organization that allows the analysis of accounting books, processes, internal and / or external operations that allow management to make decisions. The objective of this research is to create an antecedent regarding the importance and relevance of the internal audit within an organization. A type of exploratory research will be used to identify the key points that must be taken into account for the use of the same. Two relevant authors who speak about the use of these emerging technologies are George Veletsianos (2010) and Chistensen Horn - Johnson (2010). It adds precision to reach the

objectives of the organization in relation to the fulfillment of its responsibilities, its analysis in an obvious way to the activities that are developed, allowing a better productivity, efficiency and effectiveness. At the same time, it has an impact on disruptive technologies due to the fact that it allows the adaptation of new methods or technology in the internal audit processes that lead to the improvement of processes, in this sense, it highlights the observation capacity as a fundamental element to innovate.

INTRODUCCIÓN

La revolución tecnológica que ha tenido lugar durante las últimas dos décadas ha transformado por completo el negocio de la consultoría. Tanto, que ahora la mayor parte de los ingresos del sector está relacionada con las tecnologías digitales, que ya vivieron un primer momento de expansión alrededor del año 2000, con el boom del internet, la demanda de servicios basados en la web y el e-commerce. Sin embargo, la velocidad de los avances actuales no tiene precedentes en la historia y afecta a todos los sectores de negocios a nivel mundial. Los economistas la denominan como la cuarta revolución industrial o revolución 4.0 y “hay tres razones por las que las transformaciones actuales no representan una prolongación de la tercera revolución industrial, sino la llegada de una distinta: la velocidad, el alcance y el impacto en los sistemas. La cuarta revolución industrial, no se define por un conjunto de tecnologías emergentes en sí mismas, sino por la transición hacia nuevos sistemas que están contruidos sobre la infraestructura de la revolución digital, dice Schwab, que es director ejecutivo del Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés)” (Perasso, 2016).

“Según (Yong, 2017) los resultados de la Encuesta Global Anual de CEOs de PwC del año 2016 revelan que al menos el 77% de los Gerentes que participaron consideran que los avances tecnológicos representan la mega-tendencia más disruptiva de los próximos cinco años, por encima de los cambios demográficos y en el orden económico mundial, la escasez de recursos, el cambio climático, así como la urbanización de las ciudades”. Las tecnologías emergentes tales como la automatización digital, analíticas de datos, las técnicas de visualización, el Internet de las Cosas (IoT), el teletrabajo e innovadores dispositivos físicos están cambiando de manera dramática la manera como las empresas pueden enfocar y

realizar sus auditorías, están orientando oportunidades para desempeño mejorado, revelando ideas más significativas que agregan valor y benefician a todos los stakeholders y clientes del negocio.

Las funciones de la auditoría interna, su enfoque, sus metodologías y el rol vital que los auditores juegan en respaldar las innumerables decisiones financieras que se toman cada día, deben ir entonces a la misma velocidad con la que la organización adopta nuevas tecnologías, aprovechando de manera integrada las técnicas, herramientas y habilidades en el desarrollo de auditorías tecnológicas y retroalimentando y proporcionando información oportuna al líder de TI y otras partes interesadas, sobre los riesgos clave en el uso de estas tecnologías.

La misión de la auditoría interna

La misión de la auditoría interna (Villardefrancos y Rivera, 2006) dentro de una organización es de suma importancia en la actualidad debido a que permite tener controles precisos, a parte que permite el logro de los objetivos a corto y largo plazo.

Según (Osneidy, 2015) la misión de la auditoría interna deja de limitarse a una simple actividad de control y asume una función imprescindible de asesoramiento a los departamentos organizacionales desde unos años hacia la actualidad.

Entre los aspectos o puntos en los cuales se hace énfasis tenemos:

- Controlar la eficiencia de las políticas internas y los medios de enfoques o transmisión que utiliza la organización descubriendo cualquier desviación sobre lo planificado.
- Recomendar las medidas adecuadas para corregir o mejorar determinados procesos internos y/o externos.

La auditoría interna constituye un mecanismo de control y supervisión que permite la creación de un proceso de disciplina y a su vez nos permite un descubrimiento de fallas y/o vulnerabilidades que existen dentro de la organización.

Esta actividad independiente, dentro de la organización que realiza revisión en la contabilidad y en las operaciones como un proceso de servicio a toda la dirección gerencial.

Representa un activo dentro de la organización que mide y evalúa diferentes controles. Constituye una fundamental herramienta de apoyo a la gerencia de las organizaciones, las que, tienen un departamento dedicado a esta labor.

Este tipo de auditoría interna, también conocida como auditoría de gestión u operativa, hace énfasis en el manejo de las políticas, los procedimientos, los métodos usados, así como en el análisis de las tareas.

Funciones ágiles de la auditoría interna

La función de la auditoría interna es definida como una actividad independiente, objetiva de aseguramiento y consultoría cuyo rol es agregar valor, mejorar las operaciones de la organización y asegurar el respeto de las obligaciones regularorias.

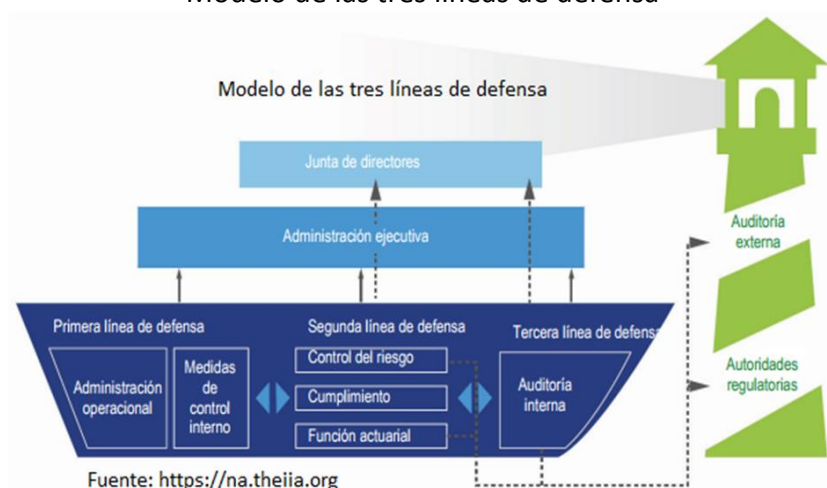
Le ayuda a una empresa a lograr sus objetivos mediante proporcionar un enfoque sistemático, disciplinado, para evaluar y mejorar la efectividad de la administración del riesgo, la función de cumplimiento y los procesos internos.

Según (Soy, 2003) la auditoría interna debe:

- Ser un organo asesor al servicio de la gerencia. Esto significa que debe ser un agente consultor interno en todo momento, deben ser garantes que cuando se requieran puedan asistir a cualquier departamento en los diferentes temas correspondientes.
- Ser independiente dentro de la organización. Que sean justos, parciales en cuanto a la toma de las decisiones.
- Subordinarse a la gerencia, garante de la independencia de criterio. No deben ser coaccionados, deben ser firmes a sus ideales.
- Ser un control de controles. Que sean equitativos con las directrices que disponga la organización.

También puede ser vista como una herramienta para mejorar las operaciones de la empresa y controles relacionados mediante proporcionar conocimientos y recomendaciones. Proporciona valor correcto y a la administración principal como una fuente objetiva de asesoramiento independiente.

Figura 1
Modelo de las tres líneas de defensa



Fuente: <https://na.thiia.org>

El modelo ilustrado en la figura pone en evidencia cuando las funciones separadas operan dentro de la estructura de la organización, en donde debe existir canales / interacciones de comunicación para evitar que cada línea opere por si misma como una isla.

La función de auditoría interna contribuye a un sistema efectivo dentro de la organización. Para ello de un modelo donde la responsabilidad sea diferenciada y distribuida en tres niveles diferentes denominados líneas de defensa:

1. Consisten en las unidades de negocio que toman o asumen riesgos de una política definida y que limita, a su vez lleva a cabo verificaciones. Los tipos de verificaciones desempeñadas constan de:
 - Verificaciones operacionales diarias
 - Verificaciones continuas críticas: personas a cargo de la validación
 - Verificaciones realizadas por la administración autorizada, sobre las materias por las cuales son responsables.
2. Contribuye al control independiente del riesgo. El desafío de las funciones es asegurar el cumplimiento con y la ejecución del riesgo.
3. Compuest por la función de auditoria interna. Proporciona una revisión independiente y crítica de las 2 primeras líneas de defensa.

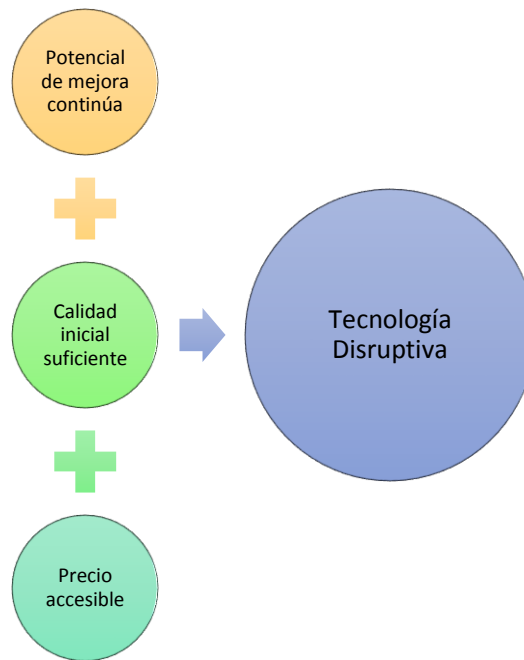
Tecnologías disruptivas y su impacto

Según (Cabrol y Severin, 2010) una tecnología disruptiva es una solución nueva que ofrece respuesta a quienes, antes de su aparición, no tenían opciones disponibles. Para que opere efectivamente, su aparición debe cumplir con tres condiciones: precio accesible, calidad inicial suficiente y potencial de mejora continua.

Según (Concardi, 2014) el impacto de la tecnología disruptiva incide en las tecnologías emergentes (TE), constituyen innovación en desarrollo que en un futuro cambiarían la forma de vivir y de producir brindando mayor facilidad a la hora de realizar tareas, o haciéndolas más seguras. Incluyen tecnología discontinuas derivadas de innovaciones, así como tecnologías más evolucionadas formadas de la convergencia de ramas de investigación antes separadas. Es decir hablar de tecnología emergentes implica utilizar tecnología para dar soluciones actuales y reales.

El modelo ilustrado en la figura presenta los elementos que conforman la tecnología disruptiva, está a su vez es capaz de ser utilizada dentro de la auditoría interna. Los controles en los procesos que de manera anterior demoraban, ahora pueden ser remplazados por tecnología acorde a maximizar el recurso, minizando el tiempo que pueda afectar un proceso exitoso dentro de la organización.

Figura 2
Tecnología Disruptiva

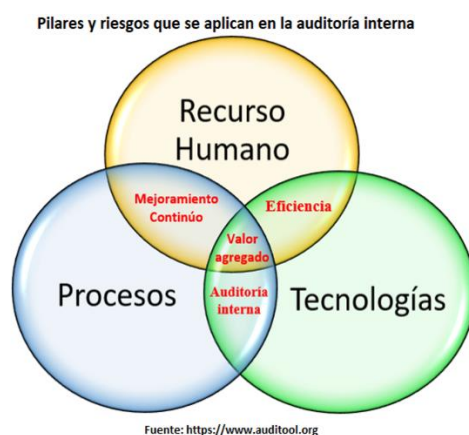


Fuente: elaboración propia (2018)

Pilares y riesgos clave

Los procesos, la tecnología y el recurso humano, son los tres pilares vitales de cualquier organización. De manera actual la función de la auditoría interna debe trabajar de forma permanente alineamiento organizacional, señalando y focalizando los recursos en los objetivos propuestos, aportando un mejor enfoque y permitiendo de manera disciplinada evaluar y mejorar la eficiencia en los procesos de gestión, control.

Figura 3
Pilares y riesgos que se aplican en la auditoría interna



El modelo ilustrado en la figura permite indentificar los tres pilares que causaran un gran impacto en la función de la auditoria, a medida que los mismos se apxoximan se logran mejores beneficios para la organización.

Los auditores de hoy y del futuro

Entre los temas de mayor importancia que son determinantes en el perfil actual del auditor interno actual tenemos: modernización y flexibilización de los instrumentos técnicos, carencia de una metodología apropiada para la realización de auditorías con incidencia en la evaluación del control de la gestión, falta de una independencia objetiva en la realización de sus labores profesionales.

El modelo ilustrado en la tabla 1 presenta diferentes tipos de tendencias en los mecanismos o roles de un auditor interno. En donde los procesos de reingeniería permiten la mejor optimización de los procesos y recursos.

Todo ello es fundamental para cambiar el pensamiento, actitudes y aptitudes del auditor interno. Es decir, la aplicación de los procesos de auditoría con un enfoque holístico y de visión sistémica de la organización debe conducimos al mejoramiento continuo del control.

CONCLUSIONES

Debido al entorno regulatorio creciente, incrementadas demandas de clientes y las nuevas tecnologías, la auditoría interna debe seguir evolucionando, está en un estado de cambio y debe desarrollar soluciones acorde con las circunstancias, innovadoras y transformacionales para entregar una auditoría diferenciada.

Es clara la importancia que tiene la auditoría interna en el ámbito de los negocios, por ser un factor determinante para el desarrollo de la empresa, por las funciones y aéreas de

acción que esta posee como, la evaluación y seguimiento de los controles internos, en donde la adecuada aplicación e implantación de cada componente asegura el beneficio continuo en el tiempo, aspecto el cual se profundizó durante el desarrollo de este manuscrito resaltando aspectos relevantes que a continuación se presentan:

- Se ha ido transformando a lo largo del tiempo. A medida que ha pasado el tiempo ha tenido diferentes procesos de evolución que han permitido mejores resultados.
- La base del buen funcionamiento de una organización, está enmarcada en el entorno de control. Los controles adecuados dentro de las diferentes empresas permiten una mejor fluidez en el manejo de la información y los datos.
- Entender y aceptar que las empresas no están excluidas de la sociedad. Las organizaciones deben tener en cuenta la imagen que se proyecta, por ende es relevante mantener la conducta correcta que permita la proyección y el beneficio de manera continua.
- Debe implantar códigos de conducta que regularicen las acciones a tomar de cada trabajador para así prevenir actos no éticos dentro de la organización, hacer lo correcto, mantener los procesos adecuados dentro de la empresa permite mejor el escenario que permita la productividad, eficiencia y eficacia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chistensen Horn – Johnson (2010). “Disrupting Class”. Vol 1, pp 89-90.
- Cristina Soy Aumantell (2003). “Auditoría de la información”. Barcelona. Editorial UOC, pp 20.
- George Veletsianos (2010), “Emerging technologies in distance education”. Canada.
- Marcelo Cabrol, Eugenio Severin (2010). “TICS en educación: Una innovación disruptiva”. Vol 1, No. 2, pp 2.
- Maria del C. Villardefrancos Alvarez, Zoia Rivera (2006). “La auditoria como proceso de control: concepto y tipología”. Vol 37, No. 2, pp 53-58.
- Nancy Young (2017). “Auditando el futuro: El impacto de las tecnologías emergentes en la auditoría interna”. Perú.
- Osneidy Hernández P. (2015). “La auditoría interna y su alcance ético empresarial”. Vol 1, pp 38
- Sonia Beatriz Concardi (2014). “Tecnología emergentes”. Vol 1, pp 494- 495.
- Valeria Perasso (2016), “Qué es la cuarta revolución industrial y por qué debería preocuparnos”. Estados Unidos.