

GENTE CLAVE

Revista Académica / Academic Journal

ISSN 2521-5795

E-ISSN 2644-3864



VOLUMEN 5 NUMERO 1
ENERO-JUNIO
2021

REVISTA ACADÉMICA ACADEMIC JORUNAL

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

GENTE CLAVE

VOLÚMEN 5 NÚMERO 1 2021

ISSN 2521-5795

e-ISSN 2644-3864

Enero-Junio 2021



Universidad
LATINA *de Panamá*
SUMMUM DESIDERIUM SAPIENTIA

Dirección postal
Av. Ricardo J. Alfaro. Tumba Muerto
Universidad Latina de Panamá
Apdo. postal 0823-00933 Panamá, República de Panamá
Telf.: (507) 2308674

ISSN 2521-5795

E-ISSN 2644-3864

Revista Académica / Academic Journal. Gente Clave. Volumen 5 Numero 1 Año 2021

Escribir en gente clave: genteclave@ulatina.edu.pa

Gente Clave Volumen 5, Nº 1 (Enero-Junio 2021)

© Derechos reservados 2021



Universidad
LATINA de Panamá
SUMMUM DESIDERIUM SAPIENTIA

Revista académica del Centro de Estudios de Postgrado Gente Clave

Publicación semestral

Volumen 5, Nº 1 (Enero-Junio 2021)

ISSN 2521-5795

e-ISSN 2644-3864

Autoridades Académicas

Dra. Mirna de Crespo

Rectora

Mgter. Rafael Vásquez

Decano del Centro de Estudios de Postgrado

Dra. Gianna Frassati

Editora

email: giannafrassati@ulatina.edu.pa

Asistente Editorial/Editorial Assistans

Ana Victoria Rivera

Consejo Editorial

Dra. Elsa de Tirado

Universidad del Zulia, Venezuela

Dr. Luis Tirado

Universidad del Zulia, Venezuela

Dr. Ángel Acevedo

Universidad Santiago de Chile

Dr. Lisandro Labrador

Universidad Nacional Politécnica de la Fuerza Armada, Venezuela

Dr. Nerio Rmirez

Universidad Nacional Experimental Rafael Maria Baralt, Venezuela

Dra. Maricarmen Soto

Universidad Latina de Panamá

Mgter. Ángel López

Universidad Latina de Panamá

ISSN 2521-5795

E-ISSN 2644-3864

Revista Académica / Academic Journal. Gente Clave. Volumen 5 Numero 1 Año 2021

Agradecimientos

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

Los colaboradores editoriales de este número son profesores e investigadores de la Universidad del Zulia, Universidad de Panamá, Universidad de Monterrey y Universidad especializada del Contador Público, Universidad Especializada de las Américas (UDELAS), Universidad Tecnológica de Panamá, Institute for Bioengineering of Catalonia, Insituto Oncològico Nacional (ION), Universidad de Panamá, Universidad Internacional de Ciencia y Tecnologia (UNICyT).

Editorial

La difusión del conocimiento es una de las herramientas más valiosas para la mejora de las sociedades, la pandemia ha demostrado grandes escaladas de colaboración y cooperación entre las comunidades científicas para avanzar a pasos acelerados en la búsqueda de soluciones que permitan volver a la normalidad en estos tiempos que atravesamos.

A través de la revista buscamos promover un espacio para que estudiantes y docentes puedan incorporar con sus artículos el desarrollo de competencias, como el pensamiento crítico y nos sigue llenando de grandes satisfacciones lograr este propósito; seguimos trabajando aún lejos de los salones de clases, con aulas completamente virtuales y aprendiendo de las nuevas tecnologías, la transformación digital y la didáctica desde otra forma de aprendizaje.

Este número se complementa con artículos de disciplinas como la ingeniería biomédica, la educación y la logística, y está dedicado a los autores que bajo la realidad actual han dedicado tiempo y esfuerzo a la investigación para su divulgación.

Dra. Gianna Frassati

Editora



DESARROLLO DE HIDROGELES EN APLICACIONES EN BIOMEDICINA DEVELOPMENT OF HYDROGELS IN BIOMEDICINE APPLICATIONS

AUTORES: ANDREA REVETE^{1,2*}, ANDREA APARICIO^{2*}, JAY MOLINO², DIEGO REGINENSI^{1,2,3}.

* Ambas autoras contribuyen igualmente en este trabajo

¹ Programa de Ingeniería Biomédica, Universidad Latina de Panamá, República de Panamá.

² Departamento de Biociencias y Salud Pública, Universidad Especializada de las Américas, República de Panamá.

³ Facultad de Medicina, Universidad de Panamá, República de Panamá

Enlace ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Diego-Reginensi>

Correos: diego.reginensi@udelas.ac.pa, diego.reginensi@up.ac.pa

Recibido: 17 de marzo de 2021

Aceptado: 05 de abril de 2021

Resumen

PALABRAS CLAVE:

Ingeniería biomédica, biomateriales, hidrogeles.

Dentro de los biomateriales más ampliamente utilizado en estudios de biomedicina para la regeneración del sistema nervioso se encuentran los hidrogeles y que corresponden a redes polimericas con alta capacidad de absorción de agua. Los hidrogeles son biomateriales capaces de ser incorporados en el cuerpo humano sin generar la perturbación del ecosistema neuronal y promover distintos procesos celulares. Las ventajas del uso de hidrogeles vienen dadas por su gran biocompatibilidad y su gran capacidad regenerativa *in situ*, lo que los hace excelentes candidatos para aplicaciones en el problemas patológicos humanos. Sus aplicaciones biomédicas son diversas, destacando su papel como sistemas de liberación sostenida de fármacos, lo que representa una alternativa para la regeneración de tejido dañado; además son andamios tridimensionales para diversas terapias celulares, proporcionando un microambiente con propiedades biomiméticas que permite la expresión diferencial de comportamientos celulares que promueven la recuperación del tejido dañado. Esta característica lo hace de alta relevancia en la medicina regenerativa enfocada en la reparación de sistema nervioso en distintas neuropatologías, pues la anatomía de este sistema es altamente compleja y delicada. Actualmente, el estudio de los hidrogeles como posibles biomateriales promotores de la regeneración axonal es un tema muy dinámico y gran potencial en posibles aplicaciones preclínicas.



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:**

Biomedical engineering, biomaterials, hydrogels.

Among the biomaterials most widely used in biomedical studies for the regeneration of the nervous system are hydrogels, polymeric networks with high water absorption capacity. This characteristic makes it highly relevant in regenerative medicine focused on repairing the nervous system in different neuropathologies since this system's anatomy is highly complex and delicate. Hydrogels are biomaterials capable of being incorporated into the central nervous system (CNS) without causing the neuronal ecosystem disturbance and promoting different cellular processes in situ, making them excellent candidates for brain neuropathological problems. Furthermore, it can be employed as drug delivery systems (DDS) for sustained drug supply or as scaffolds for various cell therapies. It provides a three-dimensional environment with biomimetic properties that enhances the differential expression of cellular behaviors that promote neuronal tissue recovery. Indeed, research on hydrogels' excellent potential for axonal regeneration and its preclinical applications is very active.

INTRODUCTION

La ingeniería tisular combina los principios y tecnologías asociados a la biología celular, la ciencia de los materiales y la ingeniería para la búsqueda, investigación y fabricación de sustitutos de tejidos que imiten la naturaleza estructural y fisiología de los tejidos nativos con el principal objetivo de promover los procesos de regeneración en un tejido dañado (Boni et al., 2018). En los últimos años, los avances en ingeniería tisular se han realizado en el diseño de andamios basados en el uso de materiales con propiedades biomiméticas que permitan la promoción de señales químicas y biológicas apropiadas que sean capaces de imitar el microambiente nativo (Williams, 2019).

En bioingeniería, los biomateriales se definen como materiales ideados para interactuar con los sistemas biológicos para la evaluación, el tratamiento y/o la sustitución de cualquier tejido, órgano o función en un organismo viviente y, que poseen aplicaciones en biomedicina (Orive et al., 2009; Singelyn et al., 2009). La selección de un biomaterial depende del sistema biológico y las propiedades fisiológicas necesarias. En general los mismos deben ser:

- (i) Biocompatibles: capacidad que tiene un material de producir el mínimo rechazo inmunológico posible con el cuerpo humano funcionando armónicamente en sincronización con el anfitrión. Es decir que no promueva reacciones inflamatorias, carcinogénesis, entre otros (Chyzy and Plonska-Brzezinska, 2020).

- (ii) Durables: Un Biomaterial debe resistir el uso para función que desempeña. El material debe trabajar y funcionar durante su tiempo de vida específico de la mejor manera (Wei et al., 2020),
- (iii) Bioreadsorbibles: que el organismo sea capaz de metabolizarlo,
- (iv) Biodegradables: que se determina por la cantidad de resistencia que ejerce el biomaterial a ser descompuesto en los elementos químicos básicos que la conforman en un periodo de tiempo (Alizadeh-Osgouei et al., 2019),
- (v) Con propiedades mecánicas deseadas: Dependiendo del sistema biológico, así mismo las propiedades mecánicas que deban caracterizar al material. Las mismas abarcan estrés cíclico, tensiones, deformaciones, compresión, torsión, y rozamiento (Gupta et al., 2020).

La clasificación de los biomateriales según su origen indica que existen dos tipos de materiales: los sintéticos y los naturales (Kiradzhiyska and Mantcheva, 2019). Un resumen de se puede apreciar en la TABLA 1. Por un lado, están los biomateriales sintéticos que se pueden clasificar en: metales, cerámicos, polímeros y materiales compuestos (Alizadeh-Osgouei et al., 2019). Los materiales sintéticos se producen bajo condiciones controladas, por lo tanto, se puede predecir sus propiedades químicas y biomecánicas. Sin embargo, una desventaja de los biomateriales sintéticos es la reducción de la biocompatibilidad y su moderada capacidad de inducción en los procesos de regeneración tisular (Chen and Liu, 2016). En el caso de los materiales sintéticos-compuestos, éstos se generan por la composición de dos o más biomateriales sintéticos con propiedades diferentes (p.e físicas, mecánicas, químicas, ópticas), y son diseñados con el objetivo de obtener un material que presente las cualidades más ventajosas de cada uno de sus componentes, propiedades que no se podrían obtener en su totalidad si se utilizan los materiales por separado. La mayor ventaja de esta clase de biomateriales es que permiten ser diseñados según las propiedades específicas que se busquen dependiendo de la aplicación que se les vaya a dar (Egbo, 2020).

Por otro lado están los biomateriales naturales que, debido a sus dominios moleculares específicos, presentan mejores interacciones andamio-célula, pero son más complejos en cuanto a su arquitectura molecular y estructural (Datta et al., 2020). Estos pueden ser biomateriales derivados a partir de proteínas (p.e colágeno, fibrina, gelatina, queratina), de polisacáridos (p.e ácido hialurónico, dextrano, celulosa, alginato, condroitina, quitina y quitosano) y glucoproteínas (López-Gallego and Benítez-Mateos, 2020). Los biomateriales naturales basados en proteínas, generalmente, se obtienen de fuentes animales y humanas e incluyen moléculas bioactivas que imitan el entorno extracelular, mientras que los biomateriales basados en polisacáridos se obtienen principalmente de algas, como en el

caso de agar y alginato, o de fuentes microbianas, como en el caso de dextrano y sus derivados (Girotti et al., 2020). Los biomateriales naturales presentan una alta variedad para poder ser usados como andamios en ingeniería de tejidos debido a su gran bioactividad, biocompatibilidad y biodegradabilidad, también su parecido estructural intrínseco a la matriz extracelular (MEC) de los tejidos nativos. Además, en su aplicación en sistemas biológicos no liberan subproductos citotóxicos durante su proceso de degradación y son capaces de promover el reconocimiento biológico, ya que pueden apoyar, de manera positiva, diversos procesos celulares (Chen and Liu, 2016).

Recientemente el uso de biomateriales naturales basados en matriz extracelular descelularizada (MECd) ha ganado popularidad ya que en el proceso de descelularización tisular, se elimina el contenido celular de un tejido específico, preservando la estructura y determinadas señales químicas de la matriz extracelular (Guruswamy Damodaran and Vermette, 2018). La MECd conservan las propiedades nativas tisulares y que son capaces de promover la regeneración funcional del tejido lesionado, los cuales podría, a futuro, ser utilizados en diversas aplicaciones preclínicas (Rowley et al., 2019). Además, se ha demostrado que la dMEC proporciona propiedades específicas tisulares que influyen en múltiples procesos celulares, tales como: la quimiotaxis, la mitogénesis y la diferenciación (Hoshiba et al., 2010). Es más, recientes avances en este campo han demostrado que el desarrollo de biomateriales descelularizados que son inyectables pueden servir como vehículos protectores para células y factores tróficos, además de promover la regeneración *in situ* del tejido dañado (Yu et al., 2020). Estas nuevas aplicaciones de biomateriales descelularizados que son implantados en el lugar del trauma o la enfermedad son capaces de promover la generación de un nicho reparativo que podría llevar a la reparación local del tejido en diversas patologías humanas (Nih et al., 2016).

Tabla 1.

Tipos de biomateriales comunes y su aplicación en biomedicina.

Tipo	Material	Aplicaciones	Referencias
SINTÉTICOS			
Metálicos	Acero inoxidable	Reemplazo de articulaciones Fijación de fracturas óseas Válvulas cardíacas Electrodos	(Bekmurzayeva et al., 2018)
	Titanio y aleaciones de titanio	Puentes e implantes dentales Reemplazo de articulaciones	(Kaur and Singh, 2019)

		Stents coronarios	
	Aleaciones cromo-cobalto	Reemplazo de articulaciones Fijación de fracturas óseas	(Niinomi et al., 2012)
	Oro	Rellenos y coronas dentales Electrodos Obtención de imágenes Administración de fármacos	(Elahi et al., 2018)
	Plata	Cables de marcapasos Materiales de sutura Amalgamas dentales Administración de fármacos	(Lee and Jun, 2019)
Cerámicos	Óxidos de aluminio	Implantes de cadera Implantes dentales Reemplazo coclear	(Rahmati and Mozafari, 2019)
	Zirconio	Implantes de cadera Implantes dentales	(Pieralli et al., 2017)
	Fosfato de calcio	Sustitutos de injertos óseos Revestimiento superficial en reemplazo de articulaciones Administración de fármacos	(Sun et al., 2019b)
	Vidrio	Sustitutos de injertos óseos Rellenos para materiales dentales	(Sarin and Rekhi, 2016)
Poliméricos	Nylon	Suturas quirúrgicas Segmentos gastrointestinales y tubos traqueales	(Winnacker, 2017)
	Poliéster	Suturas reabsorbibles Fijación de fracturas Revestimientos de heridas de la piel Dispositivos de suministro de fármacos	(Moradali and Rehm, 2020)
	Poliétileno (PE)	Implantes de cadera y rodilla Implantes de tendones y ligamentos Injertos vasculares sintéticos	(Chen et al., 2020)
	Polimetilmetacrilato (PMMA)	Cemento óseo Lentes intraoculares	(Sa et al., 2018)
	Cloruro de polivinilo (PVC)	Prótesis faciales	(Beveridge et al., 2018)

Compuestos	Polihidroxietilmetacrilato (PHEMA) reforzado con fibras sintéticas de tereftalato de polietileno (PET)	Reemplazo de cartílago Reemplazo de ligamentos	(Egbo, 2020)
	Titanio reforzado con hidroxiapatita	Implantes dentales	(Guillem-Marti et al., 2019)
	Ácido poliláctico (PLA), en combinación, con ácido hialurónico	Administración de fármacos y factores anticancerígenos	(Du et al., 2018)
	Policaprolactona electrohilada con hidrogel a base de heparina	Reemplazo de cartílago	(Semitela et al., 2020)
	Hidrogel de polietilenglicol con nanopartículas de óxido de hierro	Sistema de suministro de fármacos	(Lin and Anseth, 2009)
NATURALES			
Proteínas	Colágeno	Cirugías cosméticas Apósitos de heridas Andamio para cartílago y hueso Bioprótesis de válvulas cardíacas Regeneración nerviosa	(Shekhter et al., 2019)
	Gelatina	Apósitos de heridas Impresión 3D Suministro de fármacos Sustrato para cultivo celular	(Echave et al., 2017)
	Fibrina	Andamio celular Restauración de tejido cartilaginoso Suministro de células	(Noori et al., 2017)
	Seda	Suministro de fármacos Regeneración ósea y cartilaginosa	(Saric and Scheibel, 2019)
Polisacáridos	Celulosa	Suministro de fármacos Andamios celulares cardíacos	(Sun et al., 2019a)
	Quitina/Quitano	Apósitos de heridas Suministro de fármacos Ingeniería tisular y andamio celular	(Ahmed and Aljaeid, 2016)

	Alginato	Apósitos de heridas Suministro de fármacos Encapsulamiento celular	(Rastogi and Kandasubramanian, 2019)
	Sulfato de condroitina	Reparación ósea y cartilaginosa	(Yang et al., 2020)
Glicosamino- glicanos	Ácido hialurónico	Lubricante oftálmico y ortopédico Suministro de fármacos Ingeniería tisular y andamio celular	(Ahmadian et al., 2020)
Matriz extracelular	Matrices descelularizadas	Andamios para regeneración de tejido óseo, cartilaginoso, nervioso	(Reginensi et al., 2020; Yao et al., 2019b)

Fuente: Tabla de criterios en el diseño de hidrogeles en ingeniería tisular, modificada a partir del trabajo de Burdick y Stevens (Burdick and Stevens, 2005).

En ingeniería tisular, la biocompatibilidad de los biomateriales implantables sigue siendo un gran desafío para su establecimiento en aplicaciones preclínicas debido a que los materiales entran en contacto directo con los tejidos vivos y los fluidos corporales. Por ello, se deben promover procesos regenerativos y evitar la respuesta inmunológica e inflamatoria (Frazão et al., 2020). La interacción célula-biomaterial es crítica en las terapias basadas en ingeniería tisular, ya que es la antesala de los procesos celulares de proliferación, migración y, a menudo, diferenciación (Kang, 2020). La adhesión celular está mediada por las proteínas séricas adsorbidas en la superficie del material, tales como inmunoglobulinas, vitronectina, fibrinógeno y fibronectina (Starz-Gaiano, 2020), en combinación, a las características biomecánicas y nanotopográficas del biomaterial (Karimi et al., 2018). La interacción entre las células y el biomaterial implica como consecuencia una serie de eventos moleculares que ocurren tanto a nivel intracelular, como la promoción de la expresión de diversos factores de transcripción y la regulación génica, y también a nivel extracelular, a través de diversas señales de la MEC (Li et al., 2018a).

La adhesión celular es un factor indispensable en la viabilidad celular, pues la cito compatibilidad célula-material permite la proliferación, migración y diferenciación celular (Starz-Gaiano, 2020). El control de la interacción entre los receptores celulares y la superficie del biomaterial es, probablemente, uno de los eventos más importantes en el diseño de biomateriales en aplicaciones en biomedicina (Gonçalves et al., 2015). El proceso de adhesión celular a la superficie de un biomaterial toma lugar gracias a las proteínas de adhesión (p.e fibronectina, laminina, colágeno) a través de receptores celulares específicos

encontrados en la membrana celular (p.e integrinas). Las integrinas se encargan de reconocer a las proteínas de adhesión y de facilitar su comunicación para lograr el proceso de adherencia celular en presencia de un determinado sustrato (Bachmann et al., 2019). La

Figura 1

muestra este fenómeno.

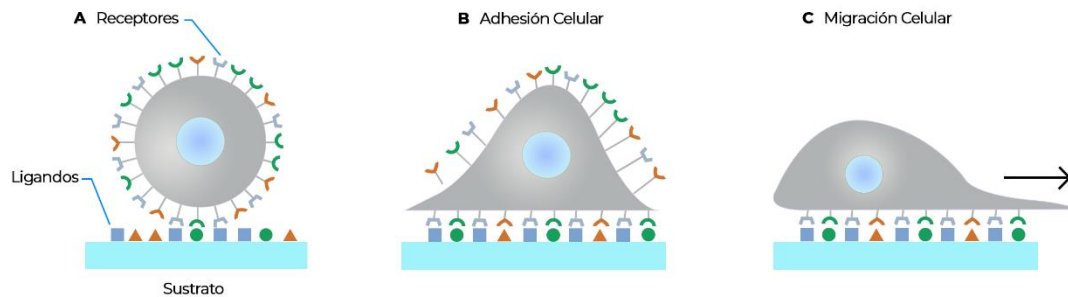


Figura 1. Interacción célula-biomaterial. Se observa la adhesión de la célula al biomaterial. (a) Se expone el contacto inicial entre una célula y un sustrato a través de interacción de proteínas receptoras y ligando específicos. (b) Se muestra la unión de los receptores de la superficie celular y los diversos ligandos que permiten el proceso de adhesión celular. (c) Se observa la reorganización citoesquelética celular con un progresivo migración celular a lo largo de la superficie del sustrato (biomaterial) (Gonçalves et al., 2015).

Los biomateriales, además pueden cumplir con características topográficas específicas (p.e porosidad, rigidez y rugosidad) permiten entregar instrucciones biofísicas a las células en su proceso de proliferación y dinámica migratoria (Mertgen et al., 2020). Actualmente, ha sido posible conocer, mediante estudios celulares, que la rugosidad tiene una particular importancia en el proceso de adhesión celular, y se ha demostrado que este proceso, junto a la proliferación celular, son directamente proporcionales al nivel de rugosidad de la superficie del biomaterial (Hou et al., 2020). En la actualidad, destaca la utilización de los hidrogeles que son biomateriales cada vez más utilizados debido a que son altamente hidrofóbicos y pueden cargarse con distintas moléculas solubles, actualmente se estudia su biocompatibilidad en diversos tejidos humanos (El-Sherbiny and Yacoub, 2013; Navarro and Planell, 2012).

HIDROGELES: CONCEPTOS BÁSICOS

Los hidrogeles constituyen un grupo de materiales hechos a partir de monómeros, cuya estructura hidrofílica les brinda la capacidad de contener grandes cantidades de agua en sus redes tridimensionales (Gradinaru et al., 2018); a pesar de haber sido definidos por diversas fuentes, el concepto más aceptado es el de ser un gel hinchado por agua

conformado por una red polimérica reticulada producida por la reacción simple de uno o más monómeros (Ahmed, 2015). Los hidrogeles poseen gran capacidad de absorción de agua, una amplia variedad de propiedades fisicoquímicas, un largo período de vida útil y, además poseen un alto grado de flexibilidad comparable al del tejido natural, debido a su elevado contenido de agua (Ahmed, 2015). En comparación con diversos otros biomateriales, los hidrogeles tienen las ventajas de tener una alta biocompatibilidad, una elevada biodegradabilidad, estructura superficial de tipo porosa y una adecuada integración en distintos espacio tisulares (Zhu et al., 2019). Sin embargo, su potencialidad en diversas aplicaciones biomédicas, a veces, se ve obstaculizada por su baja resistencia mecánica, su elevada capacidad tanto eléctrica, como térmica y, su gran capacidad tanto de adsorción, como de difusión de agua (Chyzy and Plonska-Brzezinska, 2020). Por lo tanto, todavía se necesita una mejor comprensión de las características fisicoquímica de estos materiales, y continuar con la búsqueda de nuevos hidrogeles con propiedades más estables que permitan su mejor aplicación en biomedicina (Chai et al., 2017).

En términos fisicoquímicos, la formación de un hidrogel implica dos pasos clave: en primer lugar, la solubilización del material en componentes monoméricos y, en segundo lugar, la neutralización controlada por temperatura y/o pH para la promoción de la inducción espontánea de los enlaces intramoleculares de los componentes monoméricos y la generación de un gel homogéneo (Saldin et al., 2017). En los hidrogeles el contenido de agua es ajustable, así como el tiempo de gelación y la degradación, lo cual los hace idóneos en aplicaciones biomédicas en tejidos complejos. Por ello, los hidrogeles debido a su alto contenido de agua y sus propiedades físicas y mecánicas, se presentan como una estrategia muy apropiada en la reparación de órganos blandos, como el cerebro (Hernandez et al., 2018). Actualmente, se han utilizado diferentes hidrogeles tanto naturales, como sintéticos tales como: hialuronano, quitosano, colágeno, fibroína de seda, isopropilacrilamida, metilcelulosa, alginato, Matrigel, ácido poliláctico-co-glicólico (PLGA) o polietilenglicol (PEG) para aplicaciones de administración fármacos y andamio celular en diversas patologías cerebrales. (Potjewyd et al., 2018). Así a través de los años diversos andamios elaborados a partir de hidrogeles aparecen como un posible tratamiento de diversos problemas cerebrales, tales como: los accidentes cerebrales y en distintos tumores cerebrales (Gazia et al., 2019).

Los hidrogeles se pueden clasificar en base a diferentes factores: en base a sus bloques de construcción (monómeros), su origen polimérico, el sistema de reticulación, su reacción ante diversos estímulos y su carga iónico (Chyzy and Plonska-Brzezinska, 2020). Los hidrogeles pueden ser naturales, sintéticos o una mezcla de ambos (Narayanaswamy and Torchilin, 2019); mientras el proceso de reticulación que corresponde a la reacción química entre cadenas de polímeros para que se unan entre sí puede realizarse de forma física, química o ambas (Nezhad-Mokhtari et al., 2019). La reticulación se puede formar a partir de múltiples estrategias, tales como: la fundición en solución, la polimerización por radicales libres y en masa, por mezclado químico simple, por radiación UV y gamma y formación de redes interpenetrantes (Gradinaru et al., 2018). También los hidrogeles se pueden clasificar según la carga iónica, clasificar y geles aniónicos y neutros, siendo la carga de la red general dependiente de la carga polimérica (Chyzy and Plonska-Brzezinska, 2020; Gradinaru et al., 2018).

Los hidrogeles naturales (polímeros de origen natural) presentan baja toxicidad y son comercializados a bajo precios. Estos polímeros pueden clasificarse en diferentes categorías según su estructura química (Sharma and Tiwari, 2020):

- (i) polisacáridos (p.e quitosano, gomas, celulosa, almidón, quitina, alginato y carragenina)
- (ii) polímeros biológicos (p.e ácido nucleico y ADN)
- (iii) poliésteres orgánicos
- (iv) polifenoles (p.e lignina)
- (v) poliamidas (p.e colágeno)
- (vi) poliésteres inorgánicos (p.e polifosfaceno)
- (vii) polianhídridos (p.e ácido polisebácico)

Los hidrogeles generados en base a polímeros naturales (polisacáridos y proteínas principalmente) son parecidos al microambiente extracelular. Son altamente biocompatibles; en múltiples ocasiones, los hidrogeles naturales con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas son mezclados con polímeros sintéticos (Lu et al., 2018; Gradinaru et al., 2018). Los hidrogeles sintéticos presentan más flexibilidad para acoplar las propiedades mecánicas (Vijayavenkataraman et al., 2019), siendo los principales polímeros utilizado: policaprolactona, poli (vinil pirrolidona) (PVP), poli (ácido láctico) (PLA), poli (etilenglicol) (PEG) y poli (alcohol vinílico) (PVA) (Müllner, 2019).

Los hidrogeles según sus propiedades de fuerzas de reticulación entre las cadenas

poliméricas se clasifican en: hidrogeles químicos, hidrogeles físicos e hidrogeles híbridos (combinación entre químicos y físicos) (Lu et al., 2018).

Los hidrogeles físicos deben su proceso de reticulación, entre sus cadenas poliméricas, debido a fuerzas no covalentes, tales como: enlaces de hidrógeno, fuerzas iónicas, interacciones de Van der Waals y fuerzas hidrófobas. Este tipo de hidrogeles muestra una respuesta reversible a los cambios ambientales porque las interacciones secundarias entre las cadenas de polímero no son muy fuertes (Tian et al., 2020). Los hidrogeles formados por estas interacciones son únicamente geles físicos y tienen alta sensibilidad al agua y termo-reversibilidad (Li et al., 2018b).

Los hidrogeles químicos, también conocidos como hidrogeles permanentes, en su formación se observan la presencia de enlaces covalentes entre las cadenas de polímero (Gradinaru et al., 2018). La reticulación química se produce por diversos medios, utilizando moléculas pequeñas (p.e formaldehído, glutaraldehído (GA), genipina, éter diglicídico y metilenbisacrilamida). Las redes de hidrogel reticulado químico son fáciles de controlar en comparación con los hidrogeles físicos porque su síntesis y aplicaciones no solo dependen del pH (Ye et al., 2019). La reticulación química se puede utilizar para transformar las propiedades físicas de los hidrogeles. Normalmente, el comportamiento de hinchamiento, la biodegradabilidad y la resistencia mecánica se han modulado mediante reticulación covalente, el cual se puede realizar mediante numerosos enfoques (Ahn et al., 2019). Este tipo de hidrogeles no se disuelven en el medio circundante y, por lo tanto, no muestran una respuesta reversible (transición sol-gel), a diferencia de como lo hacen los hidrogeles físicos, debido a la presencia de fuertes enlaces covalentes entre las cadenas macromoleculares. (Bashir et al., 2020).

Estos biomateriales presentan una alta afinidad por los medios acuosos, gran capacidad hinchamiento y baja disolución en fluidos corporales, como consecuencia de los entrecruzamientos presentes en la estructura del hidrogel (Gradinaru et al., 2018). La respuesta de hinchamiento en diferentes entornos fisiológicos, es una de las características más interesantes de los hidrogeles para ser utilizado en diferentes aplicaciones en biomedicina. Los hidrogeles responden también a determinadas variaciones de pH, de fuerza iónica, de campo eléctrico y de temperatura (Jayaramudu et al., 2019).

Los hidrogeles sensibles al pH se hinchan debido a la ionización de grupos hidrófilos con variación en los niveles de pH mediante la restricción de sus grupos ácidos y básicos (Hollingshead and Liu, 2020). Los polímeros que contienen grupos ácidos, tales como ácido carboxílico y ácido sulfónico, se conocen como polímeros aniónicos, mientras que los

polímeros que consisten en grupos básicos, tales como aminas, se conocen como polímeros catiónicos. Estos grupos aceptan o liberan protones y se ionizan con los cambios de pH (Zhao et al., 2019b). Los polímeros que incluyen un gran número de tales grupos se reconocen como polielectrolitos. Los polielectrolitos reticulados tridimensionales muestran cambios en el comportamiento de hinchamiento con cambios en el pH, principalmente, debido a la repulsión electrostática de los grupos ionizados. En la actualidad, los hidrogeles sensibles al pH son muy utilizados en la liberación sostenida y dirigida de fármacos (Bai et al., 2018).

La generación y el desarrollo de los hidrogeles en aplicaciones médicas viene dada por tres etapas fundamentales y que son:

- (i) la generación de hidrogeles basada en procedimientos de reticulación, que implica modificaciones químicas de un monómero o polímero con un iniciador para el desarrollo de materiales con elevada capacidad hinchamiento y propiedades mecánicas adecuadas (Lu et al., 2018);
- (ii) la generación de respuesta por parte del hidrogel en presencia a estímulos específicos (p.e temperatura, pH, fuerza iónica, etc.) otorgándoles una respuesta específica frente a un estímulo externo (Zhao et al., 2019a; Lu et al., 2018);
- (iii) la generación de hidrogeles basada en materiales híbridos (p.e interacción PEG-PLA), lo cual otorga un mayor espectro de propiedades modulables y una amplia respuesta frente a estímulos desencadenantes (Palmese et al., 2019). Esta etapa tiene por objetivo el desarrollo de “hidrogeles inteligentes” que podrían tener una variedad de distintas aplicaciones en biomedicina (Li and Su, 2018). Estos hidrogeles híbridos basados en polímeros tanto naturales como sintéticos ofrecen diversas posibilidades, ya sea en la encapsulación de células permitiendo la incorporación de matrices bioactivas cargadas con células capaces de promover la reparación y la regeneración en una amplia variedad de tejidos y órganos (Zhao et al., 2019a), como también al ser capaces de responder a señales biológicas *in vivo* o desencadenantes remotos promoviendo la liberación de fármaco en aplicaciones en nanomedicina (Palmese et al., 2019).

DINÁMICA CELULAR EN LOS HIDROGELES

Generalmente, los estudios *in vitro* de células se realizan en superficies bidimensionales (2D) hechas de plástico. En un cultivo típico, las células se encuentran en microambiente topográfico muy distinto a lo que ocurre en condiciones *in vivo*. Los cultivos celulares se utilizan con frecuencia para avanzar en la comprensión de los mecanismos que subyacen al

comportamiento de las células *in vivo*. A nivel fisiológico, los mecanismos de migración celular son mucho más complejos y pueden consistir en combinaciones de diferentes mecanismos de dinámica intracelular y cascadas moleculares (Starz-Gaiano, 2020). El mecanismo para dirigir el movimiento celular se lleva a cabo en asociación con la disipación de calor, lo que requiere contrarrestar la resistencia externa impuesta por el entorno extracelular y la resistencia interna de los componentes intracelulares. La resistencia externa es el resultado de la combinación de la viscosidad y la rigidez de la matriz extracelular y la adhesión de la célula con el sustrato circundante (Beckwith et al., 2019). La resistencia interna se origina principalmente en el citoesqueleto, cuya estructura debe mantener un equilibrio, siendo lo suficientemente sólida para preservar la consistencia de la célula y, al mismo tiempo, flexible para permitir cambios morfológicos y el transporte de elementos citoplasmáticos (Jones et al., 2019) como se aprecia en la **Figura 2**.

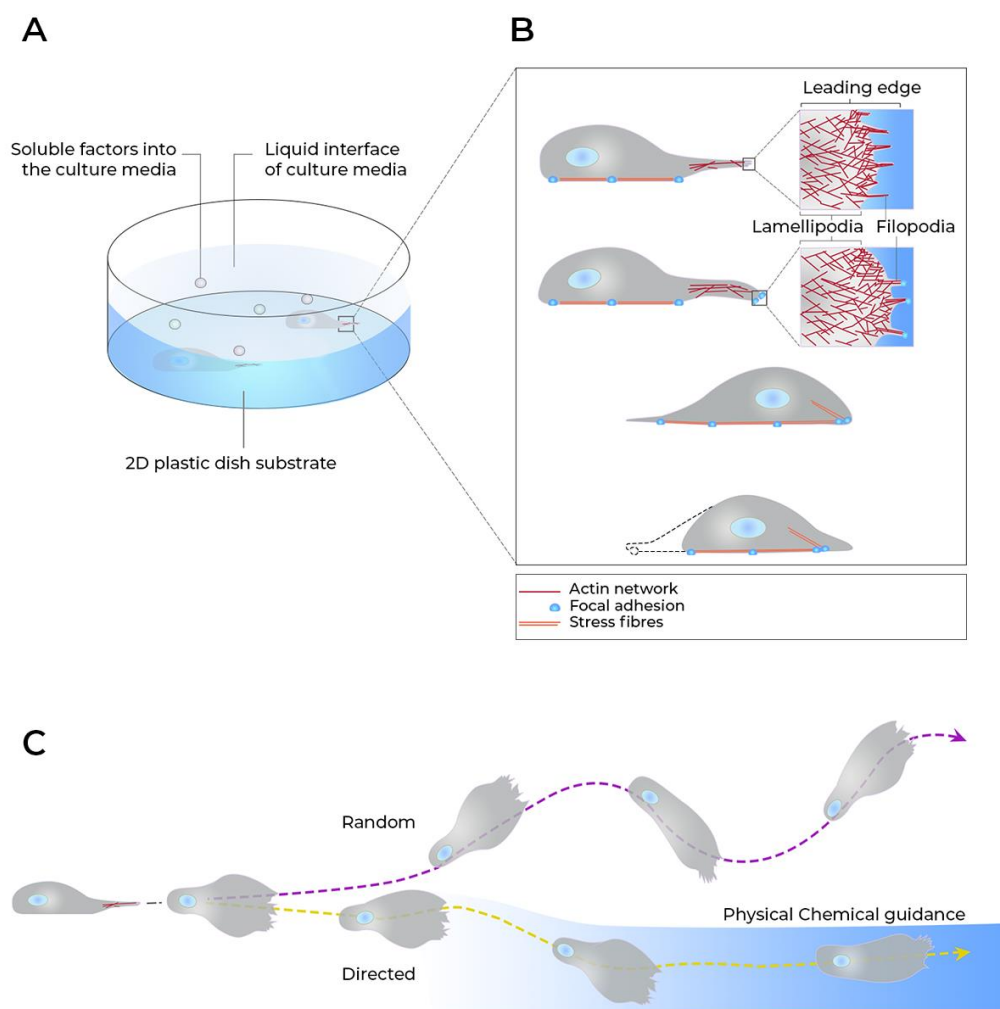


Figura 2. Proceso migratorio convencional en placa de Petri. (a) Se observa migración bidimensional (2D) de células en una placa de Petri; (b) Dinámica de una célula en su proceso migratorio basado en un proceso complejo orquestado por la interacción del citoesqueleto, adherencias focales y el medio extracelular y (c) Esquema explicativo del proceso migratorio aleatorio y un proceso migratorio dirigido por gradientes moleculares.

En general, los cultivos 2D predominan la investigación científica, sin embargo, los cultivos basados en estructuras tridimensionales (3D) están ganando popularidad, ya que representan microambientes bioquímicos y biomecánicos mucho más naturales (Jensen and Teng, 2020). Actualmente, hay desafíos en los cultivos 3D, tales como: la interfaz de matriz extracelular celular (ECM), el microambiente mecánico, las distribuciones espaciotemporales de oxígeno y los gradientes de factores solubles y moléculas metabólicas (Gonzalez Gonzalez et al., 2018) demostrando que nos encontramos en presencia de un campo nuevo y prometedor.

Los cultivos celulares, basados en hidrogeles, se utilizan como andamios tridimensionales que proporcionan integridad estructural (Yosef et al., 2019) sirven como estructuras adhesivas y barreras tisulares (Zhang and Manninen, 2019), actúan como depósitos de fármacos (Shehzad et al., 2019) y entregando agentes bioactivos que promueve el proceso de reparación tisular (Kim et al., 2018). Los hidrogeles pueden simular la mayoría de los tejidos y se pueden emplearse para desarrollar análogos sintéticos de matriz extracelular. Este punto rompe el paradigma de los cultivos 2D clásicos, ya que las células en modelos 3D exhiben comportamientos más nativos y dinámicas más parecidas a lo que ocurre en condiciones *in vivo* (Fontoura et al., 2020). Se aprecia en la **Figura 3**.

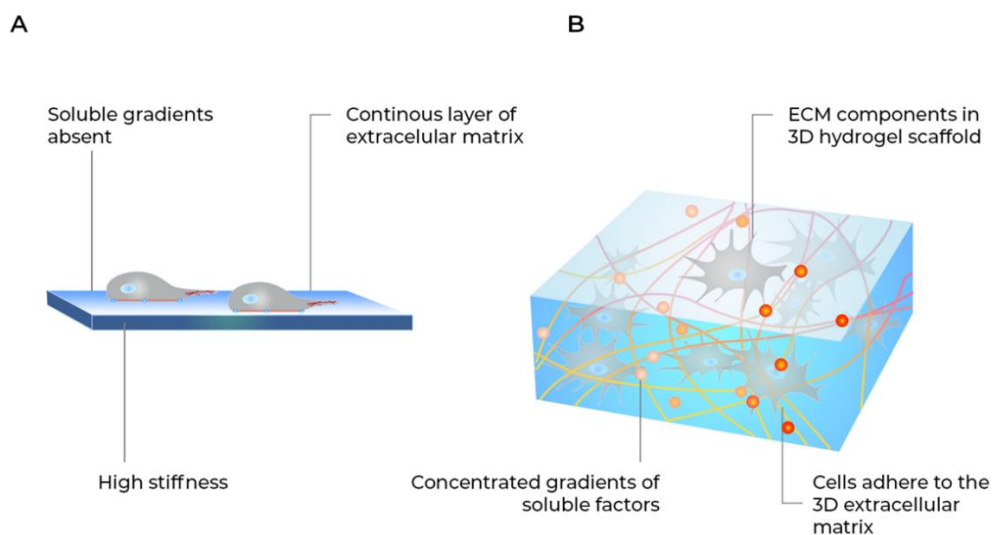


Figura 3. Comparación de cultivo celular bidimensional con uno tridimensional. (a) Las células polarizadas se observan en un cultivo monocapa bidimensional (izquierda) por su unión a la superficie plástica en un lado. Tienen una interacción limitada con otras células y componentes extracelulares tridimensionales. (b) En un entorno tridimensional (derecha), se proporcionan pistas tridimensionales a la sección, lo que permite la interacción célula-célula en múltiples dimensiones.

Además, los hidrogeles encapsulan y entregan células. La encapsulación celular es una estrategia utilizada en estudios celulares que consiste en la utilización de hidrogeles como andamios para suspender células en su medio y de este modo depositarlos en el sistema *in vivo* donde se esté realizando el estudio; los hidrogeles han demostrado propiedades ventajosas para esta aplicación, pues son materiales inyectables con capacidad de formación *in situ*, son citocompatibles y soportan la adhesión celular (Nicodemus and Bryant, 2008). Los hidrogeles sintéticos y naturales se han popularizado como plataformas tridimensionales de cultivo celular (Tibbitt and Anseth, 2009); debido a su capacidad de simular la naturaleza de la mayoría de los tejidos blandos, los hidrogeles son un material altamente atractivo para desarrollar análogos de matriz extracelular sintéticos.

HIDROGELES COMO BIOMATERIALES EN APLICACIONES BIOMÉDICAS.

Los hidrogeles pueden ser utilizados como andamios tridimensionales en ingeniería tisular proporcionando diversas funciones. Pueden otorgar integridad estructural para la organización celular, sirviendo como barreras tisulares, actuando como depósitos de fármacos, entregando distintos agentes bioactivos y encapsular células (Slaughter et al., 2009). Los hidrogeles poseen altos contenidos de agua, lo cual permite el transporte fácil de oxígeno, nutrientes y desechos, así como transporte de factores solubles (Nguyen and West, 2002). Éstos en presencia de agua se hinchan, aumentando considerablemente su volumen, pero manteniendo su forma hasta alcanzar un equilibrio fisicoquímico. El contenido de agua de los hidrogeles es ajustable, así como el tiempo de gelación y la degradación debido al alto contenido acuoso, lo que otorga propiedades fisicoquímicas al biomaterial que son apropiados en determinadas aplicaciones en biomedicina (Potjewyd et al., 2018). Los hidrogeles también tienen un grado de flexibilidad muy similar al tejido natural, debido a su contenido de agua significativa. Además, los hidrogeles tienen una estructura altamente porosa (Palmeze et al., 2019; Navarro et al., 2004), y con ello, puede ajustarse fácilmente en términos de su hidrofiliidad y de su densidad de sus enlaces intermoleculares permitiendo que sea cargado con diversas moléculas específicas que son

liberadas de manera sistémica (Sheikhpour et al., 2017; Kopecek, 2007). Así es como, las propiedades fisicoquímicas de los hidrogeles han despertado un interés particular en su uso para aplicaciones de administración de drogas y la liberación de factores tróficos (Medberry et al., 2013). Dentro de los criterios y propiedades necesarios a tomar en cuenta para el diseño de hidrogeles en ingeniería tisular, destacan aspectos: fisicoquímicos, mecánicos, biológicas y de transporte (Lu et al., 2018).

Los hidrogeles comparten muchas propiedades físicas fundamentales con los tejidos nativos del cuerpo humano, tales como: el alto contenido de agua, la capacidad de transporte masivo, permitiendo la difusión de estímulos autocrinos y paracrinos y la generación de rangos dinámicos de rigidez (Martin and Youssef, 2018). Los recientes avances en técnicas de ensamblaje y generación de hidrogeles ha permitido el diseño de nuevos andamios tridimensionales (3D) y microambientes basados en microambientes fisiológicos (Gonzalez Gonzalez et al., 2018); es más, muchos hidrogeles son altamente citocompatibles y se adaptan fácilmente para poseer ligandos de adhesión celular, una viscoelasticidad estable y degradabilidad deseada (Kirschning et al., 2018). Las propiedades de los hidrogeles se presentan en la **TABLA 2**.

En las propiedades fisicoquímicas de los hidrogeles se debe considerar la gelación del biomaterial que corresponde al proceso por el cual se forma un gel. La tasa de gelación se refiere al proceso mediante el cual el hidrogel es capaz de aumentar su volumen mediante absorción de líquido, una propiedad importante y distintiva en los hidrogeles. Otra propiedad fisicoquímicos es la porosidad del hidrogel, que se refiere a la proporción de volumen vacío dentro del volumen total del biomaterial. La porosidad es determinante en el transporte de nutrientes y oxígeno desde el hidrogel hacia las células, lo cual promueve la supervivencia, la proliferación y la migración celular (Chyzy and Plonska-Brzezinska, 2020; Jo et al., 2020).

En las propiedades mecánicas de los hidrogeles destacan la rigidez ya que es un factor fundamental para la viabilidad de los sistemas biológicos (Jo et al., 2020; Žigon-Branc et al., 2019). De hecho, algunas células realizan sus procesos de adherencia y supervivencia mejor en matrices rígidas, mientras que otros casos celulares lo hacen, de mejor manera, en matrices (Pina et al., 2019). A partir de lo mencionado, el estudio de las propiedades viscoelásticas de los hidrogeles y en biomedicina ha cobrado relevancia ya que, dependiendo de la aplicación, se requiere de también que un hidrogel imite e interactúe positivamente con las propiedades nativas del tejido en estudio (Jo et al., 2020; Vedadghavami et al., 2017).

En la propiedades biológicas destacan: la biocompatibilidad del hidrogel lo cual es un requerimiento fundamental para la promoción de la adhesión de células viables en el andamio y, la subsecuente proliferación, migración y diferenciación celular (Chen et al., 2019a) y la biodegradabilidad que corresponde a un por el cual un material por acción biológica, cambia y, en general, pierde sus propiedades originales y a nivel químico las moléculas que lo conforma se convierten en formas más simples y estables, pudiendo ser la forma más oxidada de la molécula original, la forma más reducida o una mezcla de ambas; esta propiedad es elemental en el diseño de los hidrogeles, ya que evita las complicaciones asociadas a la cicatrización tisular y, a su vez, puede definir el grado de administración de una sustancia (Chyzy and Plonska-Brzezinska, 2020; Jo et al., 2020).

También se ha estudiado ampliamente el transporte de masa (nutrientes, metabolitos y gases) a través del andamio hacia la interfaz biológica (p.e tejido lesionado) (Chyzy and Plonska-Brzezinska, 2020).

TABLA 2

Criterios y propiedades para el diseño de hidrogeles en ingeniería tisular.

Propiedades físicoquímicas
Tasa de gelación
Mecanismos y dinámica de formación de gel
Porosidad
Propiedades mecánicas
Rigidez
Viscoelasticidad
Propiedades de transporte
Difusión de nutrientes
Difusión de metabolitos
Propiedades biológicas
Biocompatibilidad
Biodegradabilidad
Promoción de la adhesión, proliferación y diferenciación celular

Fuente: *Tabla de criterios en el diseño de hidrogeles en ingeniería tisular, basado (Chyzy and Plonska-Brzezinska, 2020; Burdick and Stevens, 2005)*

Hoy en día, los hidrogeles se emplean para aplicaciones clínicas como la cicatrización de heridas y, más recientemente, se utilizan como andamios para proporcionar un microentorno 3D biomimético para el crecimiento de las células (Kopecek, 2007). Dentro de las propiedades físicoquímicas de los hidrogeles que deben tenerse en cuenta para

aplicaciones en entorno daño o lesión tisular son: la porosidad, la composición química y las propiedades mecánicas (Sharma and Tiwari, 2020). La porosidad del hidrogel es esencial para estabilizar el ambiente post-traumático, al permitir que el flujo bidireccional de nutrientes en el andamio. También, la porosidad afecta la infiltración celular, la distribución celular, así como el crecimiento celular, la proliferación, la vascularización y la angiogénesis local (Khaing et al., 2014).

Los biomateriales basado en hidrogeles, en la actualidad, se utilizan en muchos campos de la industria biomédica, como los lentes intraoculares, lentes de contacto y prótesis corneales en oftalmología, diversos cementos óseos para ortopedia y una variedad de apósitos en heridas y como andamios tisulares en medicina regenerativa, debido a sus excelentes propiedades como biocompatibilidad, absorción de agua y rendimiento mecánico adecuado (Serrano-Aroca et al., 2017). En la rama farmacéutica, los hidrogeles mejorados con nanofiltros y péptidos están siendo estudiados como sistemas de administración de fármacos, materiales de liberación sostenida, diseño de biosensores y vendajes de hemostasia (Sameer et al., 2018; Chai et al., 2017). En la mayoría de los casos, los hidrogeles se usan como materiales homogéneos con propiedades uniformes de volumen y con rigidez relativamente baja (blandos). Estos materiales buscar imitar la compleja estructura anisotrópica de los tejidos corporales, además contienen diferentes señales bioquímicas y diversas propiedades mecánicas que juegan un papel crucial para las distintas aplicaciones biomédicas (Wang et al., 2018). En la actualidad, han surgido varias tecnologías para la fabricación de hidrogeles multicapa. Entre ellos, la tecnología de autoensamblaje layer-by-layer (LBL) se ha convertido en el método más utilizado (Seidi et al., 2020; Liu et al., 2018). Estudios realizados con estos hidrogeles han arrojado indicios de que con ellos se pueda lograr la carga y la entrega mediada en la superficie de agentes bioactivos desde dispositivos biomédicos implantables, la liberación controlada múltiple de insulina (Liu et al., 2018).

En resumen, los hidrogeles son materiales prometedores como andamios celulares en ingeniería tisular. El desarrollo de hidrogeles constituidos a partir de diferentes polímeros se aplica a la medicina regenerativa (p.e regeneración ósea, tejido cartilaginoso, tejido vascular, tejido cardíaco, tejido cerebral), cicatrización de heridas cutáneas, en la administración de fármacos y genes, en distintas interfaces bioelectrónicas en lesiones tisulares (Chyzy and Plonska-Brzezinska, 2020; Edgar et al., 2020; Jo et al., 2020). La biocompatibilidad inherente, viscoelasticidad modificable, la biofísica modulable, su alto contenido de agua y alta permeabilidad al oxígeno y nutrientes esenciales hacen de los

hidrogeles ser andamios perfectos en diferentes aplicaciones en ingeniería tisular (Maisani et al., 2017).

Perspectiva traslacional de los hidrogeles en Biomedicina.

Desde una perspectiva de potencial traslacional, es la capacidad de los hidrogeles para formarse *in situ*, resulta un aspecto muy ventajoso para el tratamiento de lesiones tisulares, ya que en su fase líquida se puede administrar a través de jeringas que permiten el acceso directo en la zona lesionada y la entrega de factores solubles que promuevan el restablecimiento de la función tisular (Wei et al., 2020). Sin embargo, la mayoría de los hidrogeles posee propiedades mecánicas muy bajas, especialmente en el estado de hinchamiento (Fennell and Huyghe, 2019). Estudios recientes han demostrado nuevos procedimientos para mejorar las propiedades mecánicas de los hidrogeles como son la incorporación de nanomateriales, tales como: el grafeno y sus derivados (p.e nanotubos de carbono y óxido de grafeno) (Chai et al., 2017; Serrano-Aroca et al., 2017), desarrollándose nuevas técnicas para la fabricación de microgeles o hidrogeles basados en micropartículas (HMP) que tienen incluidos en su estructura la presencia de partículas del orden de la microescala (1–500 μm) (Wang et al., 2019). Los HMP pueden estar hechos de polímeros naturales o sintéticos, y fabricarse con una variedad de formas y tamaños utilizando técnicas, que a menudo, son compatibles con la encapsulación de productos biológicos (por ejemplo, células y medicamentos) (Newsom et al., 2019) y, pueden administrarse mediante inyección indirecta al torrente sanguíneo o mediante una inyección directa en un tejido específico (Chen et al., 2019b).

Los hidrogeles tienen la propiedad, además, de rellenar, de manera precisa, las zonas de lesiones geométricamente irregulares, en contraposición, a los biomateriales sólidos (por ejemplo, diversos metales, nanofibras) que carecen de fluidez en la zona de aplicación (Gradinaru et al., 2018). En la actualidad, los hidrogeles se ven como una alternativa atractiva frente a entornos complejos, tales como: el sistema nervioso central (SNC) (Mahumane et al., 2018). El SNC tiene una capacidad muy limitada de reparación tisular ante cualquier tipo de daño (p.e traumatismo, enfermedades neurodegenerativas), se ha demostrado que, de haber neurogénesis, esta sólo se da en áreas muy específicas del cerebro, y que por lo general no existen mecanismos de reparación inherentes el cerebro tras una lesión o daño, resultando así en una pérdida permanente del tejido nervioso (Grealish et al., 2016). Es por esto que uno de los mayores desafíos en el campo científico de la investigación en Biomedicina es hallar soluciones a las lesiones cerebrales, en donde diversos estudios realizados hasta la fecha apuntan a la medicina regenerativa como la posible respuesta para resolver dicho desafío.

Por ello, la utilización de hidrogeles como solución a la pérdida de funciones cerebrales en pacientes de afecciones neurológicas podría ser una aproximación innovadora, considerando que el número de pacientes con problemas asociados al sistema nervioso central aumenta progresivamente año tras año y que no existe tratamiento válido para su tratamiento, a fecha de hoy (Niemczyk et al., 2018). Para algunos autores, el paso más importante en la bioingeniería de materiales, es sin duda, la reparación cerebral mediante el desarrollo de andamios que contengan las propiedades mecánicas, topológicas y bioquímicas necesarias para permitir la promoción del re-crecimiento axonal en una zona cerebral lesionada (Mahumane et al., 2018). Los hidrogeles tiene por principal ventaja comparativas que poseen propiedades biomecánicas adecuadas y que son molecularmente compatibles con la zona de lesión cerebral y con las regiones adyacente (zona de penumbra) (Nih et al., 2016).

En el contexto de las lesiones cerebrales, se han utilizado diferentes biomateriales de hidrogel basados en materiales como alginato, gelatina, quitosano, metilcelulosa, colágeno, ácido hialurónico y PLGA, gelatina, quitosano, metilcelulosa, ácido hialurónico y PLGA (Bordoni et al., 2020; Yao et al., 2019a; Zhou et al., 2018; Hao et al., 2017), como microportadores para la liberación de factores de crecimiento, angiogénicos y neurotróficos (Ma et al., 2020). Así es como, con la finalidad de intentar imitar la composición única de los tejido cerebral, se han desarrollado la técnicas de descelularización que intentan conservar el microambiente *in vivo* de los tejidos y generar la obtención de un andamio basado en matriz extracelular cerebral (García-Gareta et al., 2020). Actualmente, el uso de tanto tejidos y como órganos descelularizados se ha vuelto cada vez más frecuente tanto en estudios tanto en cultivo celular, como en modelos animales (Tiemann et al., 2020). La generación de hidrogeles basados en matriz extracelular descelularizada es un enfoque atractivo para el tratamiento de las lesiones del SNC debido a que tiene múltiples efectos positivos, tales como: la biocompatibilidad, la inmunomodulación y la capacidad de integración tisular, lo cual proporciona una plataforma mimética, mínimamente invasiva, que puede ajustarse tanto mecánica, como bioquímicamente para entregar al ambiente en el que sea implantado diversos factores bioactivos, angiogénicos y de crecimiento (Ghuman et al., 2018), como también células (Kim et al., 2020). Los hidrogeles basados en MEC implantados en la cavidad del cerebro que ha sufrido la pérdida de tejido han demostrado la capacidad de atraer células endógenas. Estos geles 3D pueden formularse a diferentes concentraciones de proteínas permitiendo el control de sus propiedades reológicas e inductivas (Micheels and Eng, 2018). Todo esto permite inferir que, en el caso de la regeneración del sistema nervioso,

los componentes que conforman el microambiente cerebral pueden ser importante para la maduración y la diferenciación neuronal (Lam et al., 2019; Sawkins et al., 2018).

Actualmente, varios estudios bien documentados muestran que la terapia celular basada en células madre puede ser capaz de reducir el tamaño del infarto en la cortical cerebral y también promover el aumento de la densidad de los vasos sanguíneos en zona isquémica (Boese et al., 2018). Sin embargo, las estrategias de trasplante celular, a menudo, tiene por principal inconveniente la baja supervivencia celular debido a que el entorno circundante en el sitio de la lesión tiene una serie de señales que son capaces de inhibir el proceso regenerativo (Gamble et al., 2018). Por ello, una potencial manera de abordar este problema es el encapsulamiento de las células de trasplante en biomateriales basado en hidrogeles que sean capaces de proteger las células en la zona de implantación y, que sean capaces de apoyar la supervivencia y el crecimiento celular (Arifin et al., 2019).

AGRADECIMIENTOS

Este artículo de revisión literaria de introducción en el ámbito de la ingeniería biomédica, en la temática de biomateriales en las Ciencias de la Salud, se encuentra desarrollado dentro del marco del proyecto FID18-042 titulado: “Desarrollo de xerogeles de sílice macroporosos como soportes bioactivos para la diferenciación de células madre mesenquimales de regeneración ósea” financiado por la SENACYT, Panamá y también cuenta con el apoyo del Sistema Nacional de Investigadores (SNI, Panamá).

Este artículo busca la introducción al mundo científico de las estudiantes de pregrado: Andrea Revete, estudiante de pregrado de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina (ULATINA) y Andrea Aparicio, estudiante de pregrado de Ingeniería Biomédica de la Universidad Especializada de las Américas (UDELAS), como nuevas investigadoras en la ciencia en Panamá. D.R ha desarrollado la idea temática/conceptual del artículo de revisión y las directrices del proceso de revisión; A.R y A.P han desarrollado la redacción del escrito, diseño esquemático y desarrollo de las múltiples correcciones y J.M ha realizado comentarios críticos y sugerencias al artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmadian, E., S.M. Dizaj, A. Eftekhari, E. Dalir, P. Vahedi, A. Hasanzadeh, and M. Samiei. 2020. The Potential Applications of Hyaluronic Acid Hydrogels in Biomedicine. *Drug Res (Stuttg)*. 70:6-11.

- Ahmed, E.M. 2015. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *J Adv Res.* 6:105-121.
- Ahmed, T.A., and B.M. Aljaeid. 2016. Preparation, characterization, and potential application of chitosan, chitosan derivatives, and chitosan metal nanoparticles in pharmaceutical drug delivery. *Drug Des Devel Ther.* 10:483-507.
- Ahn, J., J. Ryu, G. Song, M. Whang, and J. Kim. 2019. Network structure and enzymatic degradation of chitosan hydrogels determined by crosslinking methods. *Carbohydr Polym.* 217:160-167.
- Alizadeh-Osgouei, M., Y. Li, and C. Wen. 2019. A comprehensive review of biodegradable synthetic polymer-ceramic composites and their manufacture for biomedical applications. *Bioact Mater.* 4:22-36.
- Arifin, D.R., M. Kulkarni, D. Kadayakkara, and J.W.M. Bulte. 2019. Fluorocapsules allow in vivo monitoring of the mechanical stability of encapsulated islet cell transplants. *Biomaterials.* 221:119410.
- Bachmann, M., S. Kukkurainen, V.P. Hytönen, and B. Wehrle-Haller. 2019. Cell Adhesion by Integrins. *Physiol Rev.* 99:1655-1699.
- Bai, X., Z. Bao, S. Bi, Y. Li, X. Yu, S. Hu, M. Tian, X. Zhang, X. Cheng, and X. Chen. 2018. Chitosan-Based Thermo/pH Double Sensitive Hydrogel for Controlled Drug Delivery. *Macromol Biosci.* 18.
- Bashir, S., M. Hina, J. Iqbal, A.H. Rajpar, M.A. Mujtaba, N.A. Alghamdi, S. Wageh, K. Ramesh, and S. Ramesh. 2020. Fundamental Concepts of Hydrogels: Synthesis, Properties, and Their Applications. *Polymers (Basel).* 12.
- Beckwith, K.S., S. Ullmann, J. Vinje, and P. Sikorski. 2019. Influence of Nanopillar Arrays on Fibroblast Motility, Adhesion, and Migration Mechanisms. *Small.* 15:e1902514.
- Bekmurzayeva, A., W.J. Duncanson, H.S. Azevedo, and D. Kanayeva. 2018. Surface modification of stainless steel for biomedical applications: Revisiting a century-old material. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 93:1073-1089.

- Beveridge, J.M., H.M. Chenot, A. Crich, A. Jacob, and M.G. Finn. 2018. Covalent Functionalization of Flexible Polyvinyl Chloride Tubing. *Langmuir*. 34:10407-10412.
- Boese, A.C., Q.E. Le, D. Pham, M.H. Hamblin, and J.P. Lee. 2018. Neural stem cell therapy for subacute and chronic ischemic stroke. *Stem Cell Res Ther*. 9:154.
- Boni, R., A. Ali, A. Shavandi, and A.N. Clarkson. 2018. Current and novel polymeric biomaterials for neural tissue engineering. *J Biomed Sci*. 25:90.
- Bordoni, M., E. Scarian, F. Rey, S. Gagliardi, S. Carelli, O. Pansarasa, and C. Cereda. 2020. Biomaterials in Neurodegenerative Disorders: A Promising Therapeutic Approach. *International journal of molecular sciences*. 21.
- Burdick, J.A., and M.M. Stevens. 2005. 11 - Biomedical hydrogels. *In Biomaterials, Artificial Organs and Tissue Engineering*. L.L. Hench and J.R. Jones, editors. Woodhead Publishing. 107-115.
- Chai, Q., Y. Jiao, and X. Yu. 2017. Hydrogels for Biomedical Applications: Their Characteristics and the Mechanisms behind Them. *Gels*. 3.
- Chen, F.M., and X. Liu. 2016. Advancing biomaterials of human origin for tissue engineering. *Prog Polym Sci*. 53:86-168.
- Chen, G., W. Tang, X. Wang, X. Zhao, C. Chen, and Z. Zhu. 2019a. Applications of Hydrogels with Special Physical Properties in Biomedicine. *Polymers (Basel)*. 11.
- Chen, M.H., J.J. Chung, J.E. Mealy, S. Zaman, E.C. Li, M.F. Arisi, P. Atluri, and J.A. Burdick. 2019b. Injectable Supramolecular Hydrogel/Microgel Composites for Therapeutic Delivery. *Macromol Biosci*. 19:e1800248.
- Chen, Z., Z. Lv, Y. Sun, Z. Chi, and G. Qing. 2020. Recent advancements in polyethyleneimine-based materials and their biomedical, biotechnology, and biomaterial applications. *Journal of Materials Chemistry B*. 8:2951-2973.
- Chyzy, A., and M.E. Plonska-Brzezinska. 2020. Hydrogel Properties and Their Impact on Regenerative Medicine and Tissue Engineering. *Molecules*. 25.

- Datta, L.P., S. Manchineella, and T. Govindaraju. 2020. Biomolecules-derived biomaterials. *Biomaterials*. 230:119633.
- Du, X., S. Yin, Y. Wang, X. Gu, G. Wang, and J. Li. 2018. Hyaluronic acid-functionalized half-generation of sectorial dendrimers for anticancer drug delivery and enhanced biocompatibility. *Carbohydr Polym*. 202:513-522.
- Echave, M.C., L. Saenz del Burgo, J.L. Pedraz, and G. Orive. 2017. Gelatin as Biomaterial for Tissue Engineering. *Curr Pharm Des*. 23:3567-3584.
- Edgar, L., T. Pu, B. Porter, J.M. Aziz, C. La Pointe, A. Asthana, and G. Orlando. 2020. Regenerative medicine, organ bioengineering and transplantation. *Br J Surg*. 107:793-800.
- Egbo, M.K. 2020. A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*.
- El-Sherbiny, I.M., and M.H. Yacoub. 2013. Hydrogel scaffolds for tissue engineering: Progress and challenges. *Global Cardiology Science & Practice*. 2013:316-342.
- Elahi, N., M. Kamali, and M.H. Baghersad. 2018. Recent biomedical applications of gold nanoparticles: A review. *Talanta*. 184:537-556.
- Fennell, E., and J.M. Huyghe. 2019. Chemically Responsive Hydrogel Deformation Mechanics: A Review. *Molecules*. 24.
- Fontoura, J.C., C. Viezzer, F.G. Dos Santos, R.A. Ligabue, R. Weinlich, R.D. Puga, D. Antonow, P. Severino, and C. Bonorino. 2020. Comparison of 2D and 3D cell culture models for cell growth, gene expression and drug resistance. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 107:110264.
- Frazão, L.P., J. Vieira de Castro, and N.M. Neves. 2020. In Vivo Evaluation of the Biocompatibility of Biomaterial Device. *Adv Exp Med Biol*. 1250:109-124.
- Gamble, A., A.R. Pepper, A. Bruni, and A.M.J. Shapiro. 2018. The journey of islet cell transplantation and future development. *Islets*. 10:80-94.

- García-Gareta, E., Y. Abduldaiem, P. Sawadkar, C. Kyriakidis, F. Lali, and K.V. Greco. 2020. Decellularised scaffolds: just a framework? Current knowledge and future directions. *J Tissue Eng.* 11:2041731420942903.
- Gazia, C., R. Tamburrini, A. Asthana, D. Chaimov, S.M. Muir, D.I. Marino, L. Delbono, V. Villani, L. Perin, P. Di Nardo, J. Robertson, and G. Orlando. 2019. Extracellular matrix-based hydrogels obtained from human tissues: a work still in progress. *Curr Opin Organ Transplant.* 24:604-612.
- Ghuman, H., C. Mauney, J. Donnelly, A.R. Massensini, S.F. Badylak, and M. Modo. 2018. Biodegradation of ECM hydrogel promotes endogenous brain tissue restoration in a rat model of stroke. *Acta Biomater.* 80:66-84.
- Girotti, A., S. Escalera-Anzola, I. Alonso-Sampedro, J. González-Valdivieso, and F.J. Arias. 2020. Aptamer-Functionalized Natural Protein-Based Polymers as Innovative Biomaterials. *Pharmaceutics.* 12.
- Gonçalves, S., F. Dourado, and L.R. Rodrigues. 2015. Overview on Cell-Biomaterial Interactions. In *Advanced Polymers in Medicine*. F. Puoci, editor. Springer International Publishing, Cham. 91-128.
- Gonzalez Gonzalez, M., I. Cichon, A. Scislowska-Czarnecka, and E. Kolaczowska. 2018. Challenges in 3D culturing of neutrophils: Assessment of cell viability. *J Immunol Methods.* 457:73-77.
- Gradinaru, V., J. Treweek, K. Overton, and K. Deisseroth. 2018. Hydrogel-Tissue Chemistry: Principles and Applications. *Annu Rev Biophys.* 47:355-376.
- Grealish, S., J. Drouin-Ouellet, and M. Parmar. 2016. Brain repair and reprogramming: the route to clinical translation. *J Intern Med.* 280:265-275.
- Guillem-Martí, J., N. Cinca, M. Punset, I.G. Cano, F.J. Gil, J.M. Guilemany, and S. Dosta. 2019. Porous titanium-hydroxyapatite composite coating obtained on titanium by cold gas spray with high bond strength for biomedical applications. *Colloids Surf B Biointerfaces.* 180:245-253.

- Gupta, N., Y.N. Liang, J.S.K. Lim, and X. Hu. 2020. Design Rationale for Stimuli-Responsive, Semi-interpenetrating Polymer Network Hydrogels-A Quantitative Approach. *Macromol Rapid Commun.* 41:e2000199.
- Guruswamy Damodaran, R., and P. Vermette. 2018. Tissue and organ decellularization in regenerative medicine. *Biotechnol Prog.* 34:1494-1505.
- Hao, P., H. Duan, F. Hao, L. Chen, M. Sun, K.S. Fan, Y.E. Sun, D. Williams, Z. Yang, and X. Li. 2017. Neural repair by NT3-chitosan via enhancement of endogenous neurogenesis after adult focal aspiration brain injury. *Biomaterials.* 140:88-102.
- Hernandez, M.J., R. Gaetani, V.M. Pieters, N.W. Ng, A.E. Chang, T.R. Martin, E. van Ingen, E.A. Mol, J.P.G. Sluijter, and K.L. Christman. 2018. Decellularized Extracellular Matrix Hydrogels as a Delivery Platform for MicroRNA and Extracellular Vesicle Therapeutics. *Adv Ther (Weinh).* 1.
- Hollingshead, S., and J.C. Liu. 2020. pH-Sensitive Mechanical Properties of Elastin-Based Hydrogels. *Macromol Biosci.* 20:e1900369.
- Hoshiba, T., H. Lu, N. Kawazoe, and G. Chen. 2010. Decellularized matrices for tissue engineering. *Expert opinion on biological therapy.* 10:1717-1728.
- Hou, Y., W. Xie, L. Yu, L.C. Camacho, C. Nie, M. Zhang, R. Haag, and Q. Wei. 2020. Surface Roughness Gradients Reveal Topography-Specific Mechanosensitive Responses in Human Mesenchymal Stem Cells. *Small.* 16:e1905422.
- Jayaramudu, T., H.U. Ko, H.C. Kim, J.W. Kim, and J. Kim. 2019. Swelling Behavior of Polyacrylamide-Cellulose Nanocrystal Hydrogels: Swelling Kinetics, Temperature, and pH Effects. *Materials (Basel).* 12.
- Jensen, C., and Y. Teng. 2020. Is It Time to Start Transitioning From 2D to 3D Cell Culture? *Front Mol Biosci.* 7:33.
- Jo, H., M. Yoon, M. Gajendiran, and K. Kim. 2020. Recent Strategies in Fabrication of Gradient Hydrogels for Tissue Engineering Applications. *Macromol Biosci.* 20:e1900300.

- Jones, M.C., J. Zha, and M.J. Humphries. 2019. Connections between the cell cycle, cell adhesion and the cytoskeleton. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 374:20180227.
- Kang, Y. 2020. Cell Biological Techniques and Cell-Biomaterial Interactions. *Cells.* 9.
- Karimi, F., A.J. O'Connor, G.G. Qiao, and D.E. Heath. 2018. Integrin Clustering Matters: A Review of Biomaterials Functionalized with Multivalent Integrin-Binding Ligands to Improve Cell Adhesion, Migration, Differentiation, Angiogenesis, and Biomedical Device Integration. *Adv Healthc Mater.* 7:e1701324.
- Kaur, M., and K. Singh. 2019. Review on titanium and titanium based alloys as biomaterials for orthopaedic applications. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 102:844-862.
- Khaing, Z.Z., R.C. Thomas, S.A. Geissler, and C.E. Schmidt. 2014. Advanced biomaterials for repairing the nervous system: what can hydrogels do for the brain? *Materials Today.* 17:332-340.
- Kim, B.S., S. Das, J. Jang, and D.W. Cho. 2020. Decellularized Extracellular Matrix-based Bioinks for Engineering Tissue- and Organ-specific Microenvironments. *Chem Rev.* 120:10608-10661.
- Kim, B.S., Y.W. Kwon, J.S. Kong, G.T. Park, G. Gao, W. Han, M.B. Kim, H. Lee, J.H. Kim, and D.W. Cho. 2018. 3D cell printing of in vitro stabilized skin model and in vivo pre-vascularized skin patch using tissue-specific extracellular matrix bioink: A step towards advanced skin tissue engineering. *Biomaterials.* 168:38-53.
- Kiradzhyska, D.D., and R.D. Mantcheva. 2019. Overview of Biocompatible Materials and Their Use in Medicine. *Folia Med (Plovdiv).* 61:34-40.
- Kirschning, A., N. Dibbert, and G. Dräger. 2018. Chemical Functionalization of Polysaccharides-Towards Biocompatible Hydrogels for Biomedical Applications. *Chemistry.* 24:1231-1240.
- Kopecek, J. 2007. Hydrogel biomaterials: a smart future? *Biomaterials.* 28:5185-5192.

- Kornev, V.A., E.A. Grebenik, A.B. Solovieva, R.I. Dmitriev, and P.S. Timashev. 2018. Hydrogel-assisted neuroregeneration approaches towards brain injury therapy: A state-of-the-art review. *Comput Struct Biotechnol J.* 16:488-502.
- Lam, D., H. Enright, J. Cadena, S. Peters, A. Sales, J. Osburn, D. Soscia, K. Kulp, E. Wheeler, and F. Nicholas. 2019. Tissue-specific extracellular matrix accelerates the formation of neural networks and communities in a neuron-glia co-culture on a multi-electrode array.
- Lee, S.H., and B.H. Jun. 2019. Silver Nanoparticles: Synthesis and Application for Nanomedicine. *International journal of molecular sciences.* 20.
- Li, E.W., O.C. McKee-Muir, and P.M. Gilbert. 2018a. Cellular Biomechanics in Skeletal Muscle Regeneration. *Curr Top Dev Biol.* 126:125-176.
- Li, X., R. Li, Z. Liu, X. Gao, S. Long, and G. Zhang. 2018b. Integrated Functional High-Strength Hydrogels with Metal-Coordination Complexes and H-Bonding Dual Physically Cross-linked Networks. *Macromol Rapid Commun.* 39:e1800400.
- Li, X., and X. Su. 2018. Multifunctional smart hydrogels: potential in tissue engineering and cancer therapy. *J Mater Chem B.* 6:4714-4730.
- Lin, C.C., and K.S. Anseth. 2009. PEG hydrogels for the controlled release of biomolecules in regenerative medicine. *Pharm Res.* 26:631-643.
- Liu, G., Z. Ding, Q. Yuan, H. Xie, and Z. Gu. 2018. Multi-Layered Hydrogels for Biomedical Applications. *Front Chem.* 6:439.
- López-Gallego, F., and A.I. Benítez-Mateos. 2020. Manufacturing of Protein-Based Biomaterials Coupling Cell-Free Protein Synthesis with Protein Immobilization. *Methods Mol Biol.* 2100:335-343.
- Lu, L., S. Yuan, J. Wang, Y. Shen, S. Deng, L. Xie, and Q. Yang. 2018. The Formation Mechanism of Hydrogels. *Curr Stem Cell Res Ther.* 13:490-496.

- Ma, X., A. Agas, Z. Siddiqui, K. Kim, P. Iglesias-Montoro, J. Kalluru, V. Kumar, and J. Haorah. 2020. Angiogenic peptide hydrogels for treatment of traumatic brain injury. *Bioact Mater.* 5:124-132.
- Mahumane, G.D., P. Kumar, L.C. du Toit, Y.E. Choonara, and V. Pillay. 2018. 3D scaffolds for brain tissue regeneration: architectural challenges. *Biomater Sci.* 6:2812-2837.
- Maisani, M., D. Pezzoli, O. Chassande, and D. Mantovani. 2017. Cellularizing hydrogel-based scaffolds to repair bone tissue: How to create a physiologically relevant micro-environment? *J Tissue Eng.* 8:2041731417712073.
- Martin, N., and G. Youssef. 2018. Dynamic properties of hydrogels and fiber-reinforced hydrogels. *J Mech Behav Biomed Mater.* 85:194-200.
- Medberry, C.J., P.M. Crapo, B.F. Siu, C.A. Carruthers, M.T. Wolf, S.P. Nagarkar, V. Agrawal, K.E. Jones, J. Kelly, S.A. Johnson, S.S. Velankar, S.C. Watkins, M. Modo, and S.F. Badylak. 2013. Hydrogels derived from central nervous system extracellular matrix. *Biomaterials.* 34:1033-1040.
- Mertgen, A.S., V.T. Trossmann, A.G. Guex, K. Maniura-Weber, T. Scheibel, and M. Rottmar. 2020. Multifunctional Biomaterials: Combining Material Modification Strategies for Engineering of Cell-Contacting Surfaces. *ACS Appl Mater Interfaces.* 12:21342-21367.
- Micheels, P., and M.O. Eng. 2018. Rheological Properties of Several Hyaluronic Acid-Based Gels: A Comparative Study. *J Drugs Dermatol.* 17:948-954.
- Moradali, M.F., and B.H.A. Rehm. 2020. Bacterial biopolymers: from pathogenesis to advanced materials. *Nat Rev Microbiol.* 18:195-210.
- Müllner, M. 2019. Functional Natural and Synthetic Polymers. *Macromol Rapid Commun.* 40:e1900151.
- Narayanaswamy, R., and V.P. Torchilin. 2019. Hydrogels and Their Applications in Targeted Drug Delivery. *Molecules.* 24.

- Navarro, M., S. del Valle, S. Martinez, S. Zeppetelli, L. Ambrosio, J.A. Planell, and M.P. Ginebra. 2004. New macroporous calcium phosphate glass ceramic for guided bone regeneration. *Biomaterials*. 25:4233-4241.
- Navarro, M., and J.A. Planell. 2012. Is nanotechnology the key to unravel and engineer biological processes? *Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)*. 811:1-16.
- Newsom, J.P., K.A. Payne, and M.D. Krebs. 2019. Microgels: Modular, tunable constructs for tissue regeneration. *Acta Biomater*. 88:32-41.
- Nezhad-Mokhtari, P., M. Ghorbani, L. Roshangar, and J. Soleimani Rad. 2019. Chemical gelling of hydrogels-based biological macromolecules for tissue engineering: Photo- and enzymatic-crosslinking methods. *Int J Biol Macromol*. 139:760-772.
- Nguyen, K.T., and J.L. West. 2002. Photopolymerizable hydrogels for tissue engineering applications. *Biomaterials*. 23:4307-4314.
- Nicodemus, G.D., and S.J. Bryant. 2008. Cell encapsulation in biodegradable hydrogels for tissue engineering applications. *Tissue Eng Part B Rev*. 14:149-165.
- Niemczyk, B., P. Sajkiewicz, and D. Kolbuk. 2018. Injectable hydrogels as novel materials for central nervous system regeneration. *J Neural Eng*. 15:051002.
- Nih, L.R., S.T. Carmichael, and T. Segura. 2016. Hydrogels for brain repair after stroke: an emerging treatment option. *Curr Opin Biotechnol*. 40:155-163.
- Niinomi, M., M. Nakai, and J. Hieda. 2012. Development of new metallic alloys for biomedical applications. *Acta Biomater*. 8:3888-3903.
- Noori, A., S.J. Ashrafi, R. Vaez-Ghaemi, A. Hatamian-Zaremi, and T.J. Webster. 2017. A review of fibrin and fibrin composites for bone tissue engineering. *Int J Nanomedicine*. 12:4937-4961.
- Orive, G., E. Anitua, J. Pedraz, and D. Emerich. 2009. Biomaterials for Promoting Brain Protection, Repair and Regeneration. *Nature reviews. Neuroscience*. 10:682-692.

- Palmese, L.L., R.K. Thapa, M.O. Sullivan, and K.L. Kiick. 2019. Hybrid hydrogels for biomedical applications. *Curr Opin Chem Eng.* 24:143-157.
- Pieralli, S., R.J. Kohal, R.E. Jung, K. Vach, and B.C. Spies. 2017. Clinical Outcomes of Zirconia Dental Implants: A Systematic Review. *J Dent Res.* 96:38-46.
- Pina, S., V.P. Ribeiro, C.F. Marques, F.R. Maia, T.H. Silva, R.L. Reis, and J.M. Oliveira. 2019. Scaffolding Strategies for Tissue Engineering and Regenerative Medicine Applications. *Materials (Basel).* 12.
- Potjewyd, G., S. Moxon, T. Wang, M. Domingos, and N.M. Hooper. 2018. Tissue Engineering 3D Neurovascular Units: A Biomaterials and Bioprinting Perspective. *Trends Biotechnol.* 36:457-472.
- Rahmati, M., and M. Mozafari. 2019. Biocompatibility of alumina-based biomaterials-A review. *J Cell Physiol.* 234:3321-3335.
- Rastogi, P., and B. Kandasubramanian. 2019. Review of alginate-based hydrogel bioprinting for application in tissue engineering. *Biofabrication.* 11:042001.
- Reginensi, D., D. Ortiz, A. Pravia, A. Burillo, F. Morales, C. Morgan, L. Jimenez, K.R. Dave, M.A. Perez-Pinzon, and R.A. Gittens. 2020. Role of Region-Specific Brain Decellularized Extracellular Matrix on In Vitro Neuronal Maturation. *Tissue Eng Part A.* 26:964-978.
- Rowley, A.T., R.R. Nagalla, S.W. Wang, and W.F. Liu. 2019. Extracellular Matrix-Based Strategies for Immunomodulatory Biomaterials Engineering. *Adv Healthc Mater.* 8:e1801578.
- Sa, Y., F. Yang, Y. Wang, J.G.C. Wolke, and J.A. Jansen. 2018. Modifications of Poly(Methyl Methacrylate) Cement for Application in Orthopedic Surgery. *Adv Exp Med Biol.* 1078:119-134.
- Saldin, L.T., M.C. Cramer, S.S. Velankar, L.J. White, and S.F. Badylak. 2017. Extracellular matrix hydrogels from decellularized tissues: Structure and function. *Acta Biomater.* 49:1-15.

- Sameer, J., V. Komal, and S. Shree R. 2018. Advanced Hydrogels for Biomedical Applications. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 5.
- Saric, M., and T. Scheibel. 2019. Engineering of silk proteins for materials applications. *Curr Opin Biotechnol*. 60:213-220.
- Sarin, S., and A. Rekhi. 2016. Bioactive glass: A potential next generation biomaterial. *SRM Journal of Research in Dental Sciences*. 7:27-32.
- Sawkins, M.J., L.T. Saldin, S.F. Badylak, and L.J. White. 2018. ECM Hydrogels for Regenerative Medicine. In *Extracellular Matrix for Tissue Engineering and Biomaterials*. A.C. Berardi, editor. Springer International Publishing, Cham. 27-58.
- Seidi, F., W. Zhao, H. Xiao, Y. Jin, and C. Zhao. 2020. Layer-by-Layer Assembly for Surface Tethering of Thin-Hydrogel Films: Design Strategies and Applications. *Chem Rec*. 20:857-881.
- Semitela, Â., A.F. Girão, C. Fernandes, G. Ramalho, I. Bdikin, A. Completo, and P.A. Marques. 2020. Electrospinning of bioactive polycaprolactone-gelatin nanofibres with increased pore size for cartilage tissue engineering applications. *J Biomater Appl*. 35:471-484.
- Serrano-Aroca, A., J.F. Ruiz-Pividal, and M. Llorens-Gamez. 2017. Enhancement of water diffusion and compression performance of crosslinked alginate films with a minuscule amount of graphene oxide. *Sci Rep*. 7:11684.
- Sharma, S., and S. Tiwari. 2020. A review on biomacromolecular hydrogel classification and its applications. *Int J Biol Macromol*. 162:737-747.
- Shehzad, A., V. Ravinayagam, H. AlRumaih, M. Aljafary, D. Almohazey, S. Almofty, N.A. Al-Rashid, and E.A. Al-Suhaimi. 2019. Application of Three-dimensional (3D) Tumor Cell Culture Systems and Mechanism of Drug Resistance. *Curr Pharm Des*. 25:3599-3607.
- Sheikhpour, M., L. Barani, and A. Kasaeian. 2017. Biomimetics in drug delivery systems: A critical review. *Journal of controlled release : official journal of the Controlled Release Society*. 253:97-109.

- Shekhter, A.B., A.L. Fayzullin, M.N. Vukolova, T.G. Rudenko, V.D. Osipychева, and P.F. Litvitsky. 2019. Medical Applications of Collagen and Collagen-Based Materials. *Curr Med Chem*. 26:506-516.
- Singelyn, J.M., J.A. DeQuach, S.B. Seif-Naraghi, R.B. Littlefield, P.J. Schup-Magoffin, and K.L. Christman. 2009. Naturally derived myocardial matrix as an injectable scaffold for cardiac tissue engineering. *Biomaterials*. 30:5409-5416.
- Slaughter, B.V., S.S. Khurshid, O.Z. Fisher, A. Khademhosseini, and N.A. Peppas. 2009. Hydrogels in regenerative medicine. *Adv Mater*. 21:3307-3329.
- Starz-Gaiano, M. 2020. Mechanisms and modeling of cell migration. *Semin Cell Dev Biol*. 100:130-132.
- Sun, B., M. Zhang, J. Shen, Z. He, P. Fatehi, and Y. Ni. 2019a. Applications of Cellulose-based Materials in Sustained Drug Delivery Systems. *Curr Med Chem*. 26:2485-2501.
- Sun, R., M. Åhlén, C.W. Tai, G. Bajnóczi É, F. Kleijne, N. Ferraz, I. Persson, M. Strømme, and O. Cheung. 2019b. Highly Porous Amorphous Calcium Phosphate for Drug Delivery and Bio-Medical Applications. *Nanomaterials (Basel)*. 10.
- Tian, B., S. Hua, Y. Tian, and J. Liu. 2020. Chemical and physical chitosan hydrogels as prospective carriers for drug delivery: a review. *J Mater Chem B*. 8:10050-10064.
- Tibbitt, M.W., and K.S. Anseth. 2009. Hydrogels as extracellular matrix mimics for 3D cell culture. *Biotechnol Bioeng*. 103:655-663.
- Tiemann, T.T., A.M. Padma, E. Sehic, H. Bäckdahl, M. Oltean, M.J. Song, M. Brännström, and M. Hellström. 2020. Towards uterus tissue engineering: a comparative study of sheep uterus decellularisation. *Mol Hum Reprod*. 26:167-178.
- Vedadghavami, A., F. Minooei, M.H. Mohammadi, S. Khetani, A. Rezaei Kolahchi, S. Mashayekhan, and A. Sanati-Nezhad. 2017. Manufacturing of hydrogel biomaterials with controlled mechanical properties for tissue engineering applications. *Acta Biomater*. 62:42-63.

- Vijayavenkataraman, S., N. Vialli, J.Y.H. Fuh, and W.F. Lu. 2019. Conductive collagen/polypyrrole-b-polycaprolactone hydrogel for bioprinting of neural tissue constructs. *Int J Bioprint*. 5:229.
- Wang, Y., C.K. Adokoh, and R. Narain. 2018. Recent development and biomedical applications of self-healing hydrogels. *Expert Opin Drug Deliv*. 15:77-91.
- Wang, Y., L. Guo, S. Dong, J. Cui, and J. Hao. 2019. Microgels in biomaterials and nanomedicines. *Adv Colloid Interface Sci*. 266:1-20.
- Wei, W., H. Li, C. Yin, and F. Tang. 2020. Research progress in the application of in situ hydrogel system in tumor treatment. *Drug Deliv*. 27:460-468.
- Williams, D.F. 2019. Challenges With the Development of Biomaterials for Sustainable Tissue Engineering. *Front Bioeng Biotechnol*. 7:127.
- Winnacker, M. 2017. Polyamides and their functionalization: recent concepts for their applications as biomaterials. *Biomaterials Science*. 5:1230-1235.
- Yang, J., M. Shen, H. Wen, Y. Luo, R. Huang, L. Rong, and J. Xie. 2020. Recent advance in delivery system and tissue engineering applications of chondroitin sulfate. *Carbohydr Polym*. 230:115650.
- Yao, M., F. Gao, R. Xu, J. Zhang, Y. Chen, and F. Guan. 2019a. A dual-enzymatically cross-linked injectable gelatin hydrogel loaded with BMSC improves neurological function recovery of traumatic brain injury in rats. *Biomater Sci*. 7:4088-4098.
- Yao, Q., Y.W. Zheng, Q.H. Lan, L. Kou, H.L. Xu, and Y.Z. Zhao. 2019b. Recent development and biomedical applications of decellularized extracellular matrix biomaterials. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 104:109942.
- Ye, D., C. Chang, and L. Zhang. 2019. High-Strength and Tough Cellulose Hydrogels Chemically Dual Cross-Linked by Using Low- and High-Molecular-Weight Cross-Linkers. *Biomacromolecules*. 20:1989-1995.
- Yosef, A., O. Kossover, I. Mironi-Harpaz, A. Mauretti, S. Melino, J. Mizrahi, and D. Seliktar. 2019. Fibrinogen-Based Hydrogel Modulus and Ligand Density Effects on Cell

- Morphogenesis in Two-Dimensional and Three-Dimensional Cell Cultures. *Adv Healthc Mater.* 8:e1801436.
- Yu, L., Z.J. Sun, Q.C. Tan, S. Wang, W.H. Wang, X.Q. Yang, and X.J. Ye. 2020. Thermosensitive injectable decellularized nucleus pulposus hydrogel as an ideal biomaterial for nucleus pulposus regeneration. *J Biomater Appl.* 35:182-192.
- Zhang, K., and A. Manninen. 2019. 3D Cell Culture Models of Epithelial Tissues. *Methods Mol Biol.* 1926:77-84.
- Zhao, H., K. Xu, P. Zhu, C. Wang, and Q. Chi. 2019a. Smart hydrogels with high tunability of stiffness as a biomimetic cell carrier. *Cell Biol Int.* 43:84-97.
- Zhao, Z., W. Yao, N. Wang, C. Liu, H. Zhou, H. Chen, and W. Qiao. 2019b. Synthesis and evaluation of mono- and multi-hydroxyl low toxicity pH-sensitive cationic lipids for drug delivery. *Eur J Pharm Sci.* 133:69-78.
- Zhou, L., J. Tu, G. Fang, L. Deng, X. Gao, K. Guo, J. Kong, J. Lv, W. Guan, and C. Yang. 2018. Combining PLGA Scaffold and MSCs for Brain Tissue Engineering: A Potential Tool for Treatment of Brain Injury. *Stem Cells Int.* 2018:5024175.
- Zhu, Y., Q. Zhang, X. Shi, and D. Han. 2019. Hierarchical Hydrogel Composite Interfaces with Robust Mechanical Properties for Biomedical Applications. *Adv Mater.* 31:e1804950.
- Žigon-Branc, S., M. Markovic, J. Van Hoorick, S. Van Vlierberghe, P. Dubruel, E. Zerobin, S. Baudis, and A. Ovsianikov. 2019. Impact of Hydrogel Stiffness on Differentiation of Human Adipose-Derived Stem Cell Microspheroids. *Tissue Eng Part A.* 25:1369-1380.

TRACEABILITY IN FOOD SUPPLY CHAIN: A THEORETICAL MODEL FOR THE IMPROVEMENT OF FOOD SAFETY

TRAZABILIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE ALIMENTOS: UN MODELO TEÓRICO PARA LA MEJORA DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

AUTORES: VANESA PENALBA¹, MILENA GOMEZ¹

¹ Docente, Universidad Tecnológica de Panamá, República de Panamá.

Correos: vanesa.penalba@utp.ac.pa, milena.gomez@utp.ac.pa

Recibido: 02 de marzo de 2020

Aceptado: 23 de marzo de 2021

Abstract

KEYWORDS:

Traceability, food supply chain, food safety, food traceability, traceability in food supply chain.

Traceability ensures food safety throughout the food supply chain through its application from obtaining the raw material to point of sale. In this sense, the study of traceability has aroused much interest in researchers. Consequently, this article carries out an exhaustive literature review where research on traceability in the food supply chain is analyzed in depth, which allows identifying their potential and shortcomings. Based on the analysis carried out, one hundred five (105) articles have been identified that highlight the potential for traceability in the food supply chain present in three (3) economic sectors: (1) agriculture and livestock, (2) fishing and (3) manufacturing industry. The results show that the study of traceability in the food supply chain was born nineteen years ago. The last 8 years, research has increased by 85% demonstrating that more research is being developed on the subject. Finally, in order to guide future research, the existing studies were analyzed with the purpose of knowing how traceability in the supply chain and its relationship with improving food safety has been addressed within the literature, identifying that the existing literature has analyzed only the traceability in some links of the supply chain or presents theoretical approaches. In this direction, based on our results we present a theoretical model oriented to measure the relationship between traceability throughout the supply chain and the improvement of food security, which constitutes a roadmap for future research aimed at knowing the relationship of traceability throughout the supply chain.



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>

PALABRAS CLAVE:

Trazabilidad,
cadena de
suministro de
alimentos,
seguridad
alimentaria,
trazabilidad
alimentaria,
trazabilidad en la
cadena de
suministro.

Resumen

La trazabilidad garantiza la seguridad alimentaria en toda la cadena de suministro de alimentos a través de su aplicación desde la obtención de la materia prima hasta el punto de venta. En este sentido, el estudio de la trazabilidad ha despertado mucho interés en los investigadores. En consecuencia, este artículo lleva a cabo una revisión exhaustiva de la literatura donde se analiza en profundidad la investigación sobre la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos, lo que permite identificar su potencial y sus deficiencias. Con base en el análisis realizado, se han identificado ciento cinco (105) artículos que destacan el potencial de trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos presente en tres (3) sectores económicos: (1) agricultura y ganadería, (2)

pesca y (3) industria manufacturera. Los resultados muestran que el estudio de la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos nació hace diecinueve años. Los últimos 8 años, la investigación ha aumentado en un 85%, lo que demuestra que se está desarrollando más investigación sobre el tema. Finalmente, para guiar la investigación futura, los estudios existentes se analizaron con el propósito de saber cómo se ha abordado la trazabilidad en la cadena de suministro y su relación con la mejora de la seguridad alimentaria en la literatura, identificando que la literatura existente solo ha analizado la trazabilidad en algunos eslabones de la cadena de suministro o presenta enfoques teóricos. En esta dirección, en base a nuestros resultados, presentamos un modelo teórico orientado a medir la relación entre la trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro y la mejora de la seguridad alimentaria, que constituye una hoja de ruta para futuras investigaciones destinadas a conocer la relación de trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro.

INTRODUCTION

Due to the crisis in the last few decades related to food, people have been concerned about the optimal conditions that must be provided in the processes that involves from farm to table to ensure food safety (Rodríguez Ramírez et al., 2010). In this regard, the European Union (EU) reinforces the individual identification and traceability of food through the Regulation No. 870/97 of 1998 (Pavon, 2011). As per (Folinas et al., 2006), this regulation of EU is clear, but they consider that at the time of implementing the traceability system there is no specific methodology that describes the steps that need to be followed by companies in the food sector. As a result, different standards of traceability have emerged

for products (fruits, vegetables, meat, and others) aligned to improve the comprehension of different mechanisms to choose the rules and systems that carry out the implementation of the traceability in agri-food companies (Stranieri et al., 2017).

A good traceability system determines at which stage and when an error occurred in the process (Alfaro & Rábade, 2009). Furthermore, when speaking of food safety, it helps to build trust and establish long-term relationships between the supply chain partners and consumers. On the other hand, Swaroop et al. (2010) considered that traceability is an effective system for monitoring the safety and quality aimed to improve the safety of agri-food chain, which can generate confidence in food safety and consumer protection; therefore, consumers need to be guaranteed the responsibilities of those who manufacture and distribute food products (Sameer Kumar, 2008).

For companies who offer highly innovative operations, it allows them to have a competitive advantage. By this way, a company can enrich the traceability with elements that go beyond contractual agreements or voluntary certification (Canavari et al., 2010); however, there are significant differences between a country's interest on pursuing the implementation of the traceability system, like occurs when countries seek to integrate sustainable development (Myae & Goddard, 2012).

Based on the above, traceability has gained importance throughout the supply chain because it ensures food security through its application from obtaining raw materials to point of sale. Firstly, on this article you will find an exhaustive review of the literature on traceability in supply chain that identifies their strengths and weaknesses. Secondly, a depth analysis is performed based on different research related to the frequency of publication, and methodologies used by economic sector in which they have implemented traceability.

Finally, to guide future research, some existing studies have been analyzed with the objective to understand how traceability has been approached in supply chain, and its relationship with the improvement of food safety. By this manner, a theoretical model is presented to measure the relationship that exists between traceability and the entire supply chain process, including food safety. It would be a great contribution to validate the theoretical models proposed by companies in different sectors such as: fishing, agriculture/livestock, and food industry, so the empty gaps of the literature in hand can be filled.

IMPORTANCE OF CHAIN TRACEABILITY FOOD SUPPLY

First, we must understand the concept of supply chain. Please keep in mind that there is no single definition that describes the concept; however, over the years various researchers have worked on the concept of supply chain. Gómez-Cedeño & Castán (2014) analyzed a set of definitions and suggests that the concept described by Mentzer et al. (2001), used as a reference in countless investigations due to its clarity and robustness that establishes: "A set of three or more entities (organizations or individuals) directly involved in the downstream and upstream flows of goods, services, finance and information from primary source of production to the final customer. " This is why we consider that this definition is complete because it defines supply chain that has a competitive advantage through the efficient management of processes that can be used to improve the safety of food from the primary source of production till the final consumer. In this sense, to obtain a better understanding of the concept of traceability, an analysis was taken place based on existing definitions found within the literature (see Table 1).

Table 1

Definitions of Traceability per Author

	Definition	Author
1	ISO 9000: 2000 considers that traceability can face a nonconformity in a batch of products with the capacity to trace the root cause by identifying the batch of raw materials or parts used in manufacturing that could have caused the problem. Therefore, it is important to identify the state of inspection and test manufactured batches (As Non-conforming, Conforming), to ensure that only approved products are shipped or installed.	Barca (2002)
2	Locates traceability in a legal regulation context.	Hobbs (2004)
3	Traceability is defined as the ability of tracking and tracing in which it is possible to identify the initial source, the actual location, or the destination of any product from any stage in the supply network.	Fritz & Schiefer (2008)
4	They emphasize the problems of traceability in food by bacteria originated in the process, by the mismanagement of product refrigeration, or by using raw materials of poor quality.	Kehagia et al. (2017)
5	States that for traceability systems, record keeping is designed to track the flow of products or product attributes through the production process or supply chain.	Golan et al. (2004)

Based on the analysis and for purposes of this paper, we consider that the most comprehensive definition is raised by Fritz & Schiefer (2008): "Therefore, we emphasize that the implementation of traceability systems is essential to locate and identify the presence of error in processes throughout the supply chain.

On the other hand, the lack of traceability systems in the processes of the supply chain generates economic losses, so it is important to implement traceability systems that allow monitoring and control along the supply chain to guarantee quality assurance of the processes. It is also essential to consider the type of product based on the economic sector in which traceability systems are implemented because some considerations must be taken place to ensure its success.

ANALYSIS OF PUBLICATIONS BASED ON TRACEABILITY IN THE FOOD SUPPLY CHAIN

To understand the evolution of research on traceability in the food supply chain, a thorough review of literature is performed where it analyzes in depth research with the sole purpose to identify their potential and shortcomings. Hence, a systematic search was conducted in four databases: (1) ProQuest, (2) Emerald (3) Wiley Online Library and (4) Science Direct. During the process of research some keywords were used such as: traceability, food chain, and food supply chain. As a result, these words were found in titles, abstracts, and keywords. The search focused on publications between 1998 and 2020. Thus, 105 articles related to traceability and food supply chain were identified.

From the results, an analysis based on the frequency of publications on the subject was conducted, and we identified that the publications were conducted between 1998 and 2020, showing a 22-year period of studies. Additionally, it is important to highlight that in the last eight years, an increase of 85% of publications (see Figure 1) was recorded, which shows an increase of interest in the scientific community about the role traceability in food supply chain.

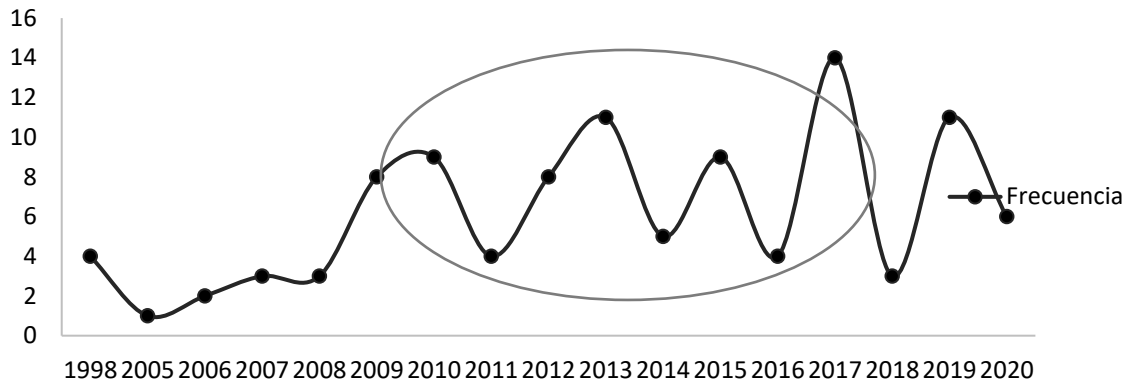


Figure 1. Frequency of Publication Related to Traceability in Food Supply Chain

Also, a classification was made according to the type of method (empirical¹ versus non-empirical²) used in the articles identified. Thus, it was observed that 53% of the articles used empirical methods, and within this rate 32% of the articles used applications and software; whereas 47% of the articles used non-empirical methods, and within this rate 33% of the articles were based on theoretical concepts (Figure 2). With these results, it is perceived that a solid theoretical basis for the analysis of traceability in the food supply chain has not yet been developed.

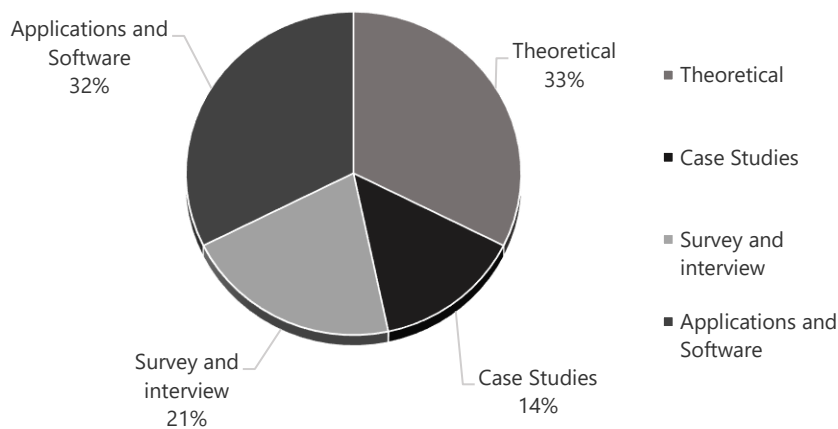


Figure 2. Classification by Type of Method (empirical vs. non-empirical) Used in the Articles Identified

¹The classification was made according Giunipero et al. (2008) where it considers how empirical methods: survey and simulation models.

²The classification was made according Giunipero et al. (2008) where considered non-empirical methods: case analysis and theoretical.

On the other hand, to find out where research have been directed on traceability in food supply chain by economic sectors³, we grouped and classified one hundred five (105) articles by sector. The results show that 62% of the studies have mostly been oriented on food manufacturing industry, followed by 26% on agriculture and livestock, and finally 12% of the studies on fishing (see Figure 3). Thus, it is evident how investigations have gravitated towards one specific sector and leaves large gaps on others, and the main the reason why this occurs is because the food manufacturing industry has presented multiple cases of product contamination caused by various reasons; as a result, this has forced entrepreneurs to implement traceability as a measure of process control.

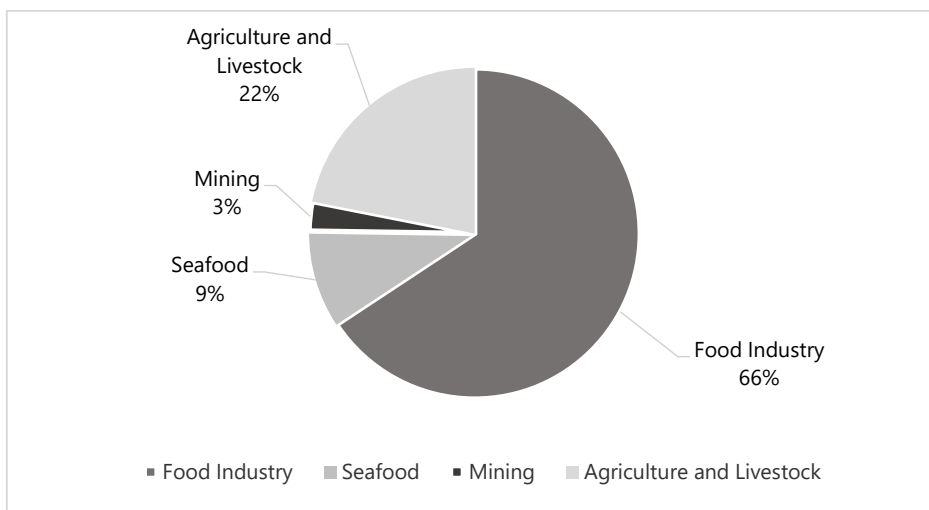


Figure 3. Classification of Research on Traceability in Food Supply Chain per Economic Sector.

In order to identify the main contributions, a content analysis of articles is performed based on each economic sector. Table 2 presents some highlights on the investigations identified during this analysis.

³ Classification of economic sectors was conducted based on the activities used in the calculation of gross domestic product (GDP) according to the National Institute of Statistics and Census (1996).

Economic Sector	Authors	Major Contributions
Food Industry	Swaroop et al. (2010)	They established that traceability is an effective system for monitoring the safety and quality in food chains with the sole purpose to increase consumers' confidence in food safety and consumer protection. However, the results underlined the need for further improvement, particularly in the definition of traceability in the food chain, application of regulations, and harmonization of practice
	Azuara et al. (2012)	They consider that economically and technologically the detection of counterfeit products has improved in the supply chain thanks to an inexpensive and scalable system based on radio frequency identification (RFID)
	Dandage et al. (2017)	They concluded that an effective system of food traceability is not only an important tool for managing food quality and safety risks, but also to promote the development of effective management of the supply chain
	Wang et al. (2009)	They noted that the management of the supply chain is influenced by traceability which in this case is considered fully integrated in the chain management and cannot be handled separately.
Seafood	Xinqing et al. (2014)	They obtained a requirement of traceability that evolved from a model against firefighting to a proactive model to improve the capacity of management of food safety processes.
Agriculture and Livestock	Manikas (2010)	They considered that proper labeling automation with the implementation of machine-readable labeling technologies, and the introduction of web-based technologies as a low-cost solution can improve the traceability of fresh products and logistics efficiency

Table 2. Major Contributions per Economic Sector

It is important to note that the major contributions in the literature are related to the manufacturing sector. As per Swaroop et al. (2010) there is a need to advance in the definition of traceability in the food chain. Furthermore, Wang et al. (2009) concluded that traceability should be developed along the supply chain which must be fully integrated and not handled separately. It is important to note that there is a need for progress when defining the concept of traceability, since the definition of an integrated traceability along the supply chain has not been conceptualize.

Table 3. *Articles About the Importance and Benefits of Traceability in Food Supply Chain*

Description	Zhao & Chen (2012)	Ringsberg (2014)	Lee et al. (2013)
Title	The Willingness of Farmers to Participate in Traceability Systems of Food: Improving the Level of Food Security.	Perspectives on Food Traceability: A Systematic Review of the Literature.	Application of TRIZ Marketing Model to Solve Operational Problems with Food Traceability Systems for Aquatic Products from Taiwan.
Purpose	Construct a theoretical model to explore the effect of incentives in a food traceability system to improve food safety standards.	Use food traceability as the means to identify the causes of deficiencies in supply chains.	Analyze and investigate the core operational problems using food traceability systems on aquatic products.
Economic Sector	Agriculture and Livestock	Food industry	Fishing

Methodology	Using descriptive statistics and a binary logistic regression model to investigate the factors that dominate the decision by farmers.	Perspective's analysis of risk- based approaches in the supply chain.	TRIZ theory to find the parameters for improvement and worsening of these problems.
Tool	Surveys (249)	Theoretical (129 articles)	Interviews
Analysis of the results	Increased effectiveness of food and traceability systems by the increase in payments to farmers to provide safe food. In addition, an increase in the fine imposed on suppliers for unsafe food are necessary conditions for improving food safety.	Eight perspectives on food traceability were identified and grouped based on the four approaches of SCRM: logistics management, information management, production management and quality management.	The findings of this study are threefold: seven central problems of aquatic products with food traceability systems were identified. Seven strategies to improve the marketing model were identified to solve operational problems of aquatic products with food traceability systems, and a new marketing model to solve operational problems was developed.

As shown in Table 3, the study by Lee et al. (2013) seeks to reduce operational problems in the process of implementing traceability for seafood products. These findings can be used as a reference in other economic sectors. On the other hand, Ringsberg (2014) performed a literature review which has four theoretical perspectives aimed at improving the understanding of food traceability in the supply chain to ensure food safety. Despite this, the conclusions of this article are limited to the theoretical framework because it does not include an empirical evolution. Lastly, Zhao & Chen (2012) seeks to demonstrate that traceability systems can ensure food security, and they tested a theoretical model that measures the perception oriented on producers based on the importance of the traceability system and its implementation. As a result, they identified that producers have greater intention to implement traceability systems due to the greater profitability for its implementation and greater penalty for not guaranteeing the necessary measures to improve food safety; however, the study only analyzes one part of the supply chain, specifically the production stage and not the entire supply chain.

THEORETICAL MODEL TO IMPROVE FOOD SAFETY BY USING TRACEABILITY

Based on the above, we believe that there is much more to explore in terms of the relationship between traceability and improvement on food security because the existing

literature has analyzed only traceability in some links of supply chain or presents some theoretical approaches. In response to the gaps in the literatures found, we present a theoretical model oriented to measure the relationship between traceability throughout the supply chain and improving food safety (see Figure 4).



Figure 4. Origin of the Proposed Model

The proposed model seeks to measure the degree of participation or the producer's intention to implement the traceability system through the variables of need and willingness of the producers, the level of implementation of the traceability system through the variables of information management, logistics management and production management, and the influence of improvement on operational problems along the entire supply chain by enabling food security through variables of food quality and safety requirements and monitoring of food characteristics, as shown in Figure 5.

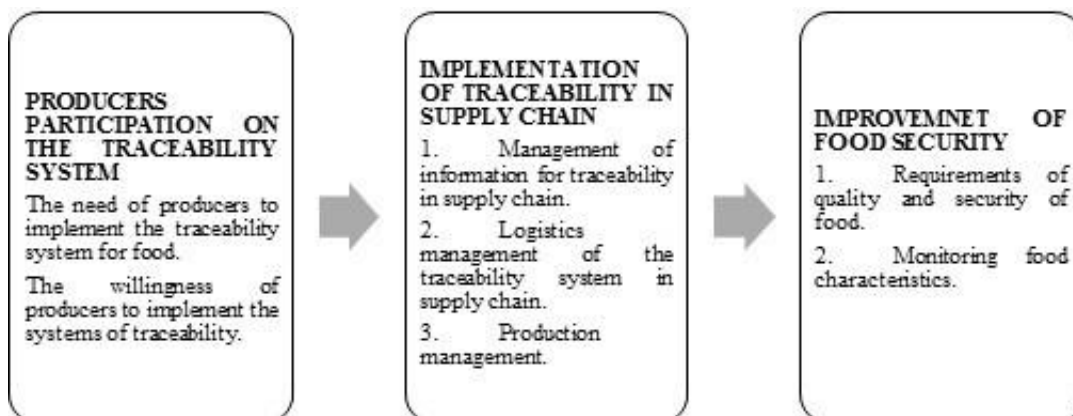


Figure 5. Theoretical Model to Improve Food Safety by using Traceability.

Source: Adapted from Zhao & Chen (2012) and Ringsberg (2014).

To do this, the studies of Zhao & Chen (2012) seeks the level of implementation of traceability systems along the supply chain that affect the improvement of food security, and Ringsberg (2014) takes into consideration the variables to measure the perception of

farmers. In Table 4, the description of factors and variables of the proposed model are presented.

Table 4. *Description of Factors and Variables of the Proposed Model*

Factors	Variables	Description
Producer participation in the traceability system	Producers need to implement traceability systems for food.	The need of a theoretical analysis on farmers to participate in food traceability system. Utility function represents decision-making for farmers on whether to join or not a food traceability system which depends on the contingent payment obtained and the costs incurred by participating in a food traceability system.
	Willingness of producers to implement traceability systems.	Household Characteristics: This group of factors consists in the age of farmers, level of education, income structure, and scale of production. Relative Behavior and Level of Consciousness: Behavior and knowledge are factors that denote if farmers have established good agricultural production practices, whether or not they have quality certification, and vehicle safety because they are concerned about the information on food quality and safety as well as awareness of traceability systems for food. Economic Factors: This group of factors includes the cost-benefit of vegetable planting, fines related to contaminated food, the expectation of traceable food prices, and expectations of risk involved in food traceability systems. External Factors: Finally, we want to discuss external factors such as cooperative behavior among farmers, participation in government subsidy programs, and technical training.
Implementation of traceability in supply chain	Information Management of traceability in the supply chain	Transparency: The need to elaborate contracts regulating the transparency and visibility in the exchange of traceability information. Strive to create strong relationships that facilitate risk-based visibility on information exchange for traceability.
	Logistics management of the traceability system in supply chain	Complexity in the Food Supply Chain: Managers of food companies must address food traceability based on the widespread integration of logistics and information systems. Unique Identification of Goods: Food supply chains should focus on the definition of traceability to ensure its guarantee on food and ingredients.

Improving food security		They should consider using several or combinations of different identification techniques and global standardized numbers (eg GS1) to ensure unique identifications.
	Production management	In food production, it is important to consider implementing models to describe and visualize the interactions between production units and transportation. Also, it is essential to consider rule-based approaches to automatically establish relationships between production processes and implementation of traceability systems.
	Requirements for quality and food safety.	Food Safety Management: Coordinated activities to direct or control food safety activities. Management systems for food safety: All documented procedures, practices, and operating procedures affecting food security. It comprises 3 levels: policy, practice, and registration forms. The systems should be based on programs with prerequisites and HACCP for the smaller and less developed businesses, so they can rely solely on the principles of HACCP or good hygiene practices. Involvement of Management: The extent to which managers / supervisors are involved in daily operations may affect food safety and how food handlers perceive their concern on food safety.
	Monitoring food security	Food Security Environment: The environment describes the structures and visible or discernible organizational processes that characterize the internal dimensions of companies. Norms: Measure values of hygiene practices compared to the legislations from United Kingdom (UK) or other standards and best practices. Type of Excellence: Taking in consideration whether the monitoring systems of food safety collect data that are useful for improving or maintaining hygiene of hands. Consistency Ensure that rules, training, and labor practices to understand food security priorities must be clear and achieved throughout the company. Perceived Organizational Support Different means of support (financial, practical, psychological, and emotional) that employees believe the organization is committed to food safety.

In this sense, it would be a great contribution to validate the theoretical model proposed for companies in various sectors such as Fisheries, Agriculture and Livestock, and Food Industry; as a result, this will allow to fill the existing gaps in the literature, and with the validated model a characterization of supply chains per food sector and identify the strengths and weaknesses of each sector can be made.

Hopefully, with this theoretical model, producers will be interested in implementing traceability systems, since currently in most cases the implementation of traceability systems is following the requirements imposed by the companies for their different suppliers.

CONCLUSION

The comprehensive analysis of studies has provided a framework to respond the question of how traceability in supply chain has been addressed in the literature and its relationship to improve food security. Based on this, we consider that the study of traceability along the supply chain presents a range of challenges and opportunities to raise future research. Despite the theoretical characteristics, this article is a solid theoretical base that can be used a roadmap for future investigations aiming to understand the relationship of traceability throughout the supply chain and, it is important to emphasize that it can be used and applied in various economic sectors.

ACKNOWLEDGEMENT

Thank you very much for the guidance I received from the SENACYT Magazine Program and the Council of Rectors of Panama.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, J. A., & Rábade, L. A. (2009). Traceability as a strategic tool to improve inventory management: A case study in the food industry. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.030>
- Azuara, G., Luis Tornos, J., & Luis Salazar, J. (2012). Improving RFID traceability systems with verifiable quality. *Industrial Management & Data Systems*, 112(3), 340–359. <https://doi.org/10.1108/02635571211210022>
- Barca, R. G. (2002). *Las Normas ISO 9000 del 2000*.

- Canavari, M., Centonze, R., Hingley, M., & Spadoni, R. (2010). Traceability as part of competitive strategy in the fruit supply chain. *British Food Journal*, 112(2), 171–186. <https://doi.org/10.1108/00070701011018851>
- Dandage, K., Badia-Melis, R., & Ruiz-Garcia, L. (2017). Indian perspective in food traceability: A review. *Food Control*. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.005>
- Folinas, D., Manikas, I., & Manos, B. (2006). Traceability data management for food chains. *British Food Journal*. <https://doi.org/10.1108/00070700610682319>
- Fritz, M., & Schiefer, G. (2008). Food chain management for sustainable food system development: A European research Agenda. *Agribusiness*. <https://doi.org/10.1002/agr.20172>
- Giunipero, L. C., Hooker, R. E., Joseph-Matthews, S., Yoon, T. E., & Brudvig, S. (2008). A decade of SCM literature: Past, present and future implications. *Journal of Supply Chain Management*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2008.00073.x>
- Golan, E., Krissoff, B., Kuchler, F., Calvin, L., Nelson, K., & Price, G. (2004). *Traceability in the U.S. Food Supply: Economic Theory and Industry Studies Visit Our Website To Learn More!*
- Gómez-Cedeño, M., & Castán, J. M. ^a. (2014). La importancia de los recursos humanos en la cadena de suministro The importance of human resources in the supply chain. *Dirección y Organización*, 54, 13–25. <https://doi.org/https://www.revistadyo.es/index.php/dyo/article/view/45>
- Hobbs, J. E. (2004). Information asymmetry and the role of traceability systems. *Agribusiness*. <https://doi.org/10.1002/agr.20020>
- Kehagia, O. C., Colmer, C., & Chryssochoidis, M. G. (2017). Consumer valuation of traceability labels: a cross-cultural study in Germany and Greece. *British Food Journal*, 119(4), 803–816. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2016-0333>

- Lee, T. (Jiun-Shen), Hsu, M., Dadura, A. M., & Ganesh, K. (2013). TRIZ application in marketing model to solve operational problems for Taiwanese aquatic products with food traceability systems. *Benchmarking: An International Journal*, 20(5), 625–646. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2012-0001>
- Manikas, B. M. I. (2010). *Article information : Traceability in the greek fresh produce sector: drivers and constraints*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/MRR-09-2015-0216>
- Mentzer, J. T., Keebler, J. S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). DEFINING SUPPLY CHAIN MANAGEMENT. *JOURNAL OF BUSINESS LOGISTICS*, 22(2), 1–25. https://www.biblioteca.fundacionicbc.edu.ar/images/e/e4/Conexion_y_logistica_2.pdf
- Myae, A. C., & Goddard, E. (2012). Importance of traceability for sustainable production: A cross-country comparison. *International Journal of Consumer Studies*, 36(2), 192–202. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2011.01084.x>
- National Institute of Statistics and Census. (1996). *Panama GDP: by Industry: SNA 1993: 1996 Reference: 1996 Prices: Annual*. <https://www.ceicdata.com/en/panama/gdp-by-industry-sna-1993-1996-reference-1996-prices-annual>
- Pavon, S. (2011). *Identificación animal y trazabilidad en la Unión Europea y el comercio internacional*.
- Ringsberg, H. (2014). Perspectives on food traceability: a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(5/6), 558–576. <https://doi.org/10.1108/SCM-01-2014-0026>
- Rodríguez Ramírez, R., González-Córdova, A. F., Arana Navarro, M., Sánchez-Escalante, A., & Vallejo-Cordova, B. (2010). Trazabilidad de la carne de bovino: conceptos, aspectos tecnológicos y perspectivas para México. *Interciencia*, 35(10), 746–751.
- Sameer Kumar, D. H. and J. M. G. (2008). *The future of traceability within the U.S. food industry supply chain: a business case*. <https://doi.org/10.1108/MBE-09-2016-0047>
- Stranieri, S., Orsi, L., & Banterle, A. (2017). Traceability and risks: an extended transaction

cost perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*, 22(2), 145–159. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2016-0268>

Swaroop, K., Frewer, L., De Jonge, J., Wentholt, M., Howell Davies, O., B. Lucas Luijckx, N., & J. Cnossen, H. (2010). Experts' perspectives on the implementation of traceability in Europe. *British Food Journal*, 112(3), 261–274. <https://doi.org/10.1108/00070701011029138>

Wang, X., Li, D., & Li, L. (2009). Adding value of food traceability to the business: a supply chain management approach. *International Journal of Services Operations and Informatics*, 4(3), 232. <https://doi.org/10.1504/IJSOI.2009.026951>

Xinqing, X., Zetian, F. U., Lin, Q. I., Mira, T., & Xiaoshuan, Z. (2014). *Development and evaluation on an intelligent traceability system for frozen tilapia fillet processing*. 86(0). <https://doi.org/10.1002/jsfa.7005>

Zhao, R., & Chen, S. zhi. (2012). Willingness of farmers to participate in food traceability systems: Improving the level of food safety. *Forestry Studies in China*, 14(2), 92–106. <https://doi.org/10.1007/s11632-012-0204-4>

ESCALA DE ANSIEDAD MANIFIESTA EN ADULTOS (AMAS-C): UN ESTUDIO EN ALUMNOS UNIVERSITARIOS DEL PRIMER AÑO DE LA LICENCIATURA EN CONTADURÍA EN MÉXICO

MANIFEST ANXIETY SCALE IN ADULTS (AMAS-C): A STUDY IN UNIVERSITY STUDENTS OF THE FIRST YEAR OF THE BACHELOR'S DEGREE IN ACCOUNTING IN MEXICO

AUTOR: SINUHÉ CARLOS GUARDADO LÓPEZ

Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Correo: guardadolopez@comunidad.unam.mx

Recibido: 19 de septiembre 2020

Aceptado: 02 de abril de 2021

Resumen

PALABRAS CLAVE:

Ansiedad,
estudiantes,
comportamiento,
universidad,
México.

El trastorno de ansiedad es uno de los padecimientos mentales recurrentes a nivel mundial y que repercuten en el estado de ánimo de las personas, incidiendo en sus relaciones interpersonales, así como en su productividad académica y laboral. El objetivo de la investigación fue determinar el nivel de ansiedad en los estudiantes universitarios del primer año de la Licenciatura en Contaduría, mediante la aplicación de la Escala de Ansiedad Manifiesta para Estudiantes Universitarios AMAS-C, con estandarización para México. La investigación tiene un enfoque de tipo cuantitativo y su alcance es de tipo descriptivo. El diseño de la investigación es de tipo No Experimental. El muestreo realizado fue no probabilístico, específicamente, por conveniencia. Los resultados de la aplicación del AMAS-C, demostraron que las subescalas de Mentira y Preocupaciones Sociales fueron clínicamente significativas, derivando en niveles de ansiedad total considerados sospechosos y anormales en casi el 90% de los alumnos universitarios.



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:

Anxiety, students, behavior, university, Mexico.

Abstract

Anxiety disorder is one of the recurrent mental illnesses worldwide and that affects people's mood, affecting their interpersonal relationships, as well as their academic and work productivity. The objective of the investigation was to determine the level of anxiety in the university students of the first year of the Bachelor of Accounting, by applying the Anxiety Scale Manifest for University Students AMAS-C, with standardization for Mexico. The research has a quantitative approach and its scope is descriptive. The research design is Non-Experimental type. The sampling carried out was non-probabilistic, specifically, for convenience. The results of the application of the AMAS-C, showed that the Lies and Social Concerns subscales were clinically significant, leading to levels of total anxiety considered suspicious and abnormal in almost 90% of university students.

INTRODUCTION

La Organización Mundial de la Salud estima que el trastorno de ansiedad es padecido por más de 260 millones de personas en el mundo, ha sido catalogada junto con la depresión como uno de problemas habituales de salud mental que afectan a la capacidad de trabajo y la productividad. (OMS, 2017)

Por su parte, la Organización Panamericana de la Salud (2017) cuantificó que en la Región de las Américas, hasta 7,7% de la población femenina sufre trastornos de ansiedad versus 3,6% de los hombres. Asimismo, considera que las tasas de prevalencia no varían sustancialmente entre los grupos etarios, aunque se puede observar una tendencia a una menor prevalencia en los grupos de mayor edad.

En México, la Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud (2015), considera a la ansiedad como uno de los trastornos mentales más comunes y la define como un estado emocional en el que se presentan cambios somáticos (cuando una persona expresa tener un síntoma que en realidad no tiene) y psíquicos.

La numeralia presentada brinda fundamento para el estudio y evaluación de este recurrente trastorno en una de las etapas más importantes de la vida de una persona como es la faceta de universitario, en el decisivo proceso de maduración personal y de formación académica de un profesionista para dar paso a su incorporación al mercado laboral.

En este sentido, los trastornos de ansiedad están clasificados como el sexto factor que contribuye a la pérdida de salud sin consecuencias mortales a nivel mundial y figura entre las diez causas principales de años vividos con discapacidad en todas las Regiones de la OMS. Es menester referir que el número de personas con trastornos de ansiedad a nivel global presentó un aumento de 14,9% de 2005 a 2015, a consecuencia del crecimiento y el envejecimiento de la población. (OPS, 2017)

Finalmente, otro de los elementos estadísticos que soportan este trabajo lo brinda la Secretaría de Salud Federal de México, la cual estima que de los 15 millones de personas que padecen algún trastorno mental en México, la mayoría son adultos jóvenes en edad productiva. (Secretaría de Salud de la Ciudad de México, 2020)

DESARROLLO

¿Qué es la ansiedad?

Es importante diferenciar un trastorno de ansiedad del miedo. Como referente clínico se debe enunciar la diferenciación que la OMS (2019), señala en la CIE-11:

El miedo y la ansiedad son fenómenos estrechamente relacionados; el miedo representa una reacción a la amenaza inminente percibida en el presente, mientras que la ansiedad está más orientada hacia el futuro, refiriéndose a la amenaza anticipada percibida. Una característica clave de diferenciación entre los trastornos de ansiedad y los trastornos relacionados con el miedo son los focos de aprehensión específicos del trastorno, es decir, el estímulo o la situación que desencadena el miedo o la ansiedad. (párr. 1)

La ansiedad y sus trastornos se encuentran especificados en la Guía de Consulta de los Criterios del Diagnóstico del DSM-5, los trastornos de ansiedad que se enuncian en esta guía son los siguientes:

- Trastorno de ansiedad por separación.
- Mutismo selectivo.
- Fobia específica (Animal; Entorno natural, Sangre-inyección-lesión; Miedo a la sangre; Miedo a las inyecciones y transfusiones; Miedo a otra atención médica; Miedo a una lesión; Situacional; Otra).
- Trastorno de ansiedad social.
- Trastorno de pánico.
- Agorafobia.
- Trastorno de ansiedad generalizada.

- Trastorno de ansiedad inducido por sustancias/medicamentos.
- Trastorno de ansiedad debido a otra afección médica.
- Otro trastorno de ansiedad especificado.
- Trastorno de ansiedad no especificado.

Causas y manifestaciones comportamentales de la ansiedad

Las causas de la ansiedad son múltiples, se debe de tener en cuenta que existen diversos factores de riesgo que pueden fungir como predisponentes a padecerla. Sin embargo, como factor detonante, por lo general para los especialistas en salud mental se considera: el estrés.

El estrés se manifiesta en diferentes ámbitos, la OMS define al estrés como “el conjunto de reacciones fisiológicas que prepara el organismo para la acción”. En términos globales se trata de un sistema de alerta biológico necesario para la supervivencia. (OMS en Torrades, 2017, p. 105)

La Secretaría de Salud (2014), considera que los trastornos por ansiedad y depresión son causados en un 90% por el estrés no controlado laboral, emocional, económico o social. Esto a su vez provoca en el organismo consecuencias graves como alteraciones metabólicas: pérdida o aumento excesivo del apetito y periodos de diarrea o estreñimiento, asimismo pueden presentarse crisis de pánico y problemas de sueño, entre otros.

Se debe de puntualizar que, desde el punto de vista clínico, difícilmente en la etapa universitaria se puede presentar la ansiedad de forma espontánea. Por lo general, la ansiedad fue precedida de otros comportamientos que incidieron en el desarrollo académico y emocional desde la niñez y que persistieron durante la adolescencia. Sin embargo, estos comportamientos no fueron bien diagnosticados en el ámbito clínico o tratados de forma sistemática.

Los episodios de ansiedad en los menores afectan sus relaciones interpersonales, suelen experimentar miedo intenso, pena o impotencia, que pueden durar largos periodos de tiempo, afectando significativamente sus actividades cotidianas. Lo anterior puede derivar en bajo rendimiento académico, deserción escolar, crisis de pánico, problemas de sueño, baja autoestima, consumo y abuso de alcohol, tabaco o drogas, depresión y problemas mentales en la edad adulta.

A menudo, la ansiedad en niños y adolescentes se presenta de forma paralela con otros padecimientos como la depresión, los trastornos de la alimentación y el déficit de atención con hiperactividad (TDAH), por mencionar algunos. (Secretaría de Salud, 2016)

En México se estima que sólo uno de cada seis jóvenes con las alteraciones comportamentales enunciadas busca atención médica especializada. Sin embargo, los jóvenes que no son tratados clínicamente tienen 3.2 por ciento más riesgo de abandonar la escuela y 18 veces más riesgo de desarrollar dependencia a alguna droga. (Secretaría de Salud, 2017)

Con relación a los adolescentes y la ansiedad, la OMS (2020a) señala que

Muchos adolescentes se ven sometidos a presiones para consumir alcohol, tabaco u otras drogas y para empezar a tener relaciones sexuales, y ello a edades cada vez más tempranas, lo que entraña para ellos un elevado riesgo de traumatismos, tanto intencionados como accidentales, embarazos no deseados e infecciones de transmisión sexual (ITS), entre ellas el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH).

Muchos de ellos también experimentan diversos problemas de adaptación y de salud mental. Los patrones de conducta que se establecen durante este proceso, como el consumo o no consumo de drogas o la asunción de riesgos o de medidas de protección en relación con las prácticas sexuales, pueden tener efectos positivos o negativos duraderos en la salud y el bienestar futuros del individuo. (párr. 4-5)

Un diagnóstico científico y oportuno de la ansiedad, determinado por un especialista clínico de la salud mental, puede prevenir que la ansiedad se convirtiera en patológica, lo que genera una evidente alteración comportamental en la persona que lo padece. La ansiedad se manifiesta mediante:

- Sensaciones somáticas como: mareos, taquicardia, sudoración, palpitaciones, temblor, molestias digestivas, aumento de la frecuencia y urgencia urinaria y/o mareos.
- Síntomas psíquicos (cognoscitivos, conductuales y afectivos) como: nerviosismo, deseo de huir, sensación de muerte inminente, inquietud, miedos irracionales, temor a perder la razón y el control. (Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud, 2015)

La OMS (2019), mediante el CIE-11, en su apartado de los trastornos mentales, del comportamiento y del neurodesarrollo, especifica el Trastorno de Ansiedad Generalizada, lo caracteriza por:

(...) síntomas marcados de ansiedad que persisten durante al menos varios meses, durante más días que los que no se manifiestan, ya sea por aprehensión general (es decir, "ansiedad de flotación libre") o preocupación excesiva centrada en múltiples eventos cotidianos, con mayor frecuencia relacionados con la familia, la salud, las finanzas, y la escuela o el trabajo,

junto con síntomas adicionales como tensión muscular o inquietud motora, actividad simpática autónoma, experiencia subjetiva de nerviosismo, dificultad para mantener la concentración, irritabilidad o trastornos del sueño. Los síntomas causan una angustia significativa o un deterioro significativo en las áreas personales, familiares, sociales, educativas, ocupacionales u otras áreas importantes del funcionamiento. Los síntomas no son una manifestación de otra condición de salud y no se deben a los efectos de una sustancia o medicamento en el sistema nervioso central. (párr. 1)

Sin un diagnóstico y tratamiento clínico, la ansiedad tiende a producir distorsiones de la percepción de la realidad, del entorno y de la persona misma, lo que afecta la funcionalidad del individuo. El diagnóstico y tratamiento de este padecimiento lo realiza un psiquiatra; sin embargo, un psicólogo clínico puede remitir al paciente para efectuar un tratamiento multidisciplinario consistente en medicamentos y terapia psicológica.

MÉTODO

Conforme a lo expuesto, se planteó la pregunta de investigación: ¿Los alumnos universitarios que cursan el primer año de la Licenciatura en Contaduría presentan ansiedad en niveles sospechoso y anormal durante la última semana del periodo lectivo 2020-2?

La presente investigación tiene un enfoque de tipo cuantitativo. El alcance de la investigación es de tipo descriptivo. El diseño de la investigación es de tipo No Experimental. El muestreo realizado fue no probabilístico, específicamente, por conveniencia. La muestra se conformó por 40 participantes (21 mujeres y 19 hombres), todos ellos estudiantes universitarios de una universidad pública del municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, quienes cursan el primer año de la licenciatura en Contaduría.

El instrumento de recolección de datos aplicado fue la Escala de Ansiedad Manifiesta para Estudiantes Universitarios AMAS-C, con estandarización para México. La aplicación del AMAS-C, con estandarización para México, fue aplicado durante la última semana de clases del semestre 2020-2 (enero-junio 2020), tal semana comprendió del 18 al 22 de mayo de 2020.

La aplicación del mencionado instrumento de evaluación nos permitió valorar cinco áreas: Inquietud/Hipersensibilidad; Ansiedad Fisiológica; Ansiedad de Prueba; Preocupaciones Sociales; y, Mentira. Las áreas mencionadas nos permitieron obtener como la Ansiedad Total. El AMAS-C, con estandarización para México, nos permitió puntuar y determinar si

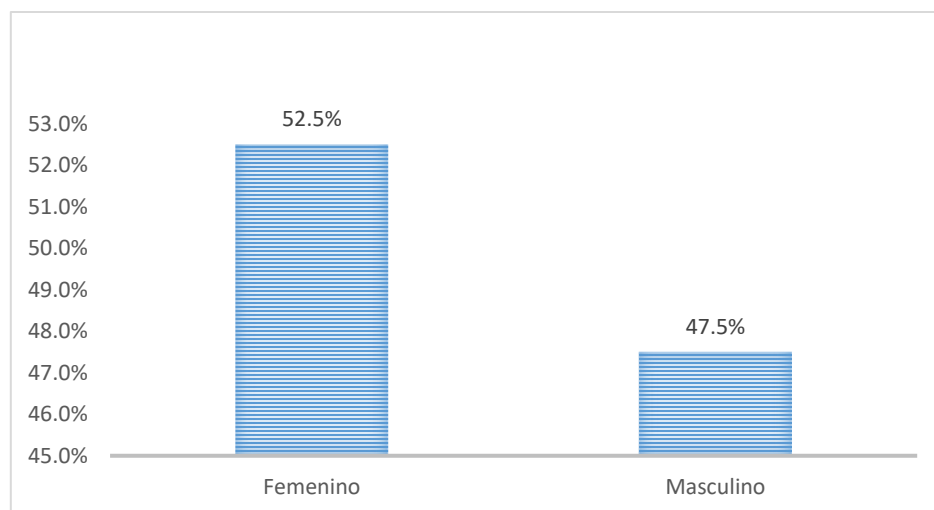
la Ansiedad Total manifestada por cada uno de los estudiantes universitarios se encontraba en los niveles: Normal, Sospechoso o Anormal.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como se exhibe en el Gráfico 1, la muestra se conformó por 40 participantes (21 mujeres y 19 hombres), todos ellos estudiantes universitarios de una universidad pública del municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, quienes cursan el primer año de la licenciatura en Contaduría.

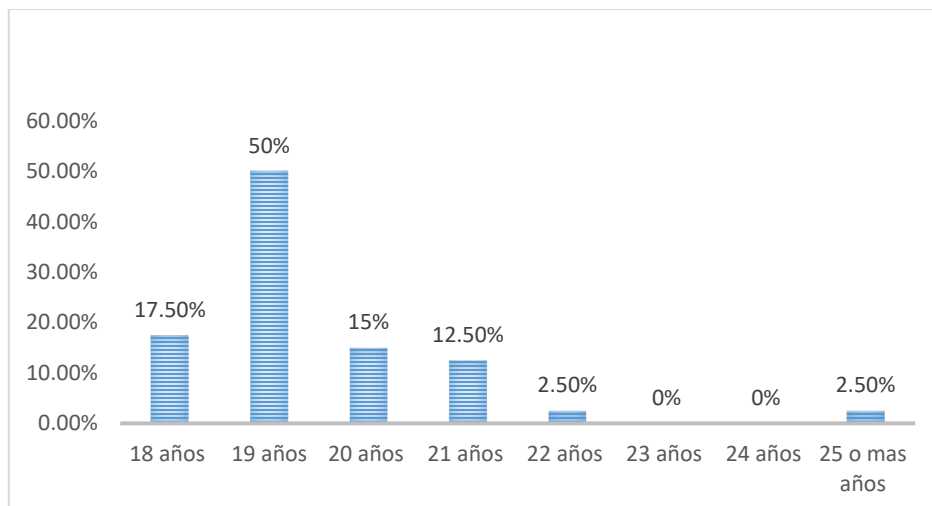
Gráfico 1.

Sexo de los estudiantes universitarios.



Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico 2, nos muestra que la edad de los participantes. El 50% de los universitarios (veinte alumnos) a quienes se les aplicó el AMAS-C, estandarizado para México, tenían 19 años. Mientras que siete estudiantes tenían 18 años; seis tenían 20 años; cinco estudiantes tenían 21 años; un estudiante tenía 22 años; y, un estudiante manifestó tener 25 o más años.

Gráfico 2*Edad de los estudiantes universitarios.*

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación del instrumento de evaluación AMAS-C, estandarizado para México, permitió obtener la Ansiedad Total, mediante la recolección de respuestas de cuatro áreas de la prueba, las cuales mediante sus puntajes permiten determinar niveles de estrés clínicamente significativos. Las subescalas evaluadas del AMAS-C (Reynolds, Richmond & Lowe, 2007) en los estudiantes universitarios del primer año de la licenciatura en contaduría fueron:

1. Inquietud/Hipersensibilidad (IHS): esta subescala describe un nerviosismo excesivo o una hipersensibilidad al estrés. Una puntuación elevada corresponde a un individuo que internaliza la ansiedad y que consume un exceso de energía emocional al enfrascarse en ideas improductivas.
2. Ansiedad Fisiológica (FIS): brinda un indicador de las manifestaciones físicas de la ansiedad y denota la propensión general de la sintomatología somática.
3. Ansiedad de Prueba (Exámenes): Diseñado para evaluar la ansiedad que se asocia con prueba, responder exámenes y evaluación del desempeño. Los niveles altos de ansiedad ante los exámenes pueden dar como resultado un desempeño deficiente al responderlos, a pesar de tener un conocimiento adecuado o incluso elevado del tema que abarca el examen.
4. Preocupaciones Sociales (SOC): Se valora la ansiedad y el estrés asociados con las preocupaciones acerca del punto de vista de los demás, de las actividades sociales y de la vida cotidiana.

5. Mentira: Esta subescala está diseñada para detectar la distorsión intencional o el sesgo de respuesta basado en la deseabilidad social, representan una conducta “ideal” que no es característica de ninguna persona.

Los resultados de Ansiedad Total de la muestra de estudiantes a quienes se les aplicó el AMAS-C, estandarizado para México, permiten determinar que 87.50% de los estudiantes (35 estudiantes), manifiestan niveles de Ansiedad fuera de lo normal, como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1

Resultados del nivel de Ansiedad Total

Nivel de ansiedad	Número de estudiantes	%
Normal	5	12.50 %
Sospechoso	17	42.50 %
Anormal	18	45.00 %
	40	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se exhibirán datos clínicamente significativos de cada una de las subescalas, que nos permiten comprender mejor la Ansiedad Total fuera de la norma en casi el 90% de los estudiantes, mediante una interpretación efectuada de las puntuaciones de las Subescalas de Ansiedad de la AMAS-C (Reynolds, Richmond & Lowe, 2007), estandarizado para México:

- Inquietud/Hipersensibilidad. La tabla 2 demuestra que poco más de la mitad de los estudiantes (55%) no tiene algún problema en la subescala de Inquietud/Hipersensibilidad. Sólo en el 45% de los estudiantes se pueden detectar potenciales comportamientos como: pensamientos repetitivos e improductivos; agotamiento mental; presencia de temores vagos; y, en contados casos, una mayor facilidad para sentirse enojado por ofensas leves.

Tabla 2

Resultados de la subescala de Inquietud/Hipersensibilidad

Nivel de ansiedad	Número de estudiantes	%
Normal	22	55.00 %
Sospechoso	11	27.50 %
Anormal	7	17.50 %
	40	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

- **Ansiedad Fisiológica:** El 50% de los estudiantes no parecen presentar problemas en la categoría ansiedad fisiológica. Mientras que el 32.50% de los universitarios presentan un nivel de ansiedad anormal, derivando en: cantidad anormalmente elevada de afecciones somáticas asociadas con la ansiedad, o predispuesto a tales afecciones; se tensa y fatiga con facilidad; y, probables trastornos del sueño.

Tabla 3*Resultados de la subescala de Ansiedad Fisiológica*

Nivel de ansiedad	Número de estudiantes	%
Normal	20	50.00 %
Sospechoso	7	17.50 %
Anormal	13	32.50 %
	40	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

- **Ansiedad de Prueba:** Frente a los exámenes o evaluaciones académicas, el 60% de los estudiantes demuestran niveles de ansiedad que no son normales. Los comportamientos que se pueden presentar son: frecuente o grave ansiedad relacionada con evaluaciones o valoraciones de tipo académico; preocupación repetitiva acerca de las calificaciones generales y de una prueba.

Tabla 4*Resultados de la subescala de Ansiedad de Prueba*

Nivel de ansiedad	Número de estudiantes	%
Normal	16	40.00 %
Sospechoso	12	30.00 %
Anormal	12	30.00 %
	40	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

- **Preocupaciones Sociales:** En esta subescala se polarizan los niveles de ansiedad. Por una parte, el 52.50% presenta niveles de ansiedad considerados normales, mientras que un importante 40% presenta nivel anormal en esta subescala, mientras que un 7.50% de estudiantes están en el nivel de ansiedad sospechoso. Un nivel anormal de ansiedad en la subescala de preocupaciones sociales ocasiona: reaccionar de manera excesiva ante el estrés; demasiada preocupación por las opiniones de los demás; sistema de apoyo débil.

Tabla 5

Resultados de la subescala de Preocupaciones Sociales

Nivel de ansiedad	Número de estudiantes	%
Normal	21	52.50 %
Sospechoso	3	7.50 %
Anormal	16	40.00 %
	40	100.00 %

Fuente: Elaboración propia.

- Mentira: El 42.50% de los estudiantes obtuvieron un autoinforme impreciso. Se debe subrayar que este rubro está influido por una amplia gama de factores. El significado potencial de un puntaje clínicamente significativo, e incluso extremo, puede deberse a: ingenuidad del respondiente; intento por parecer psicológicamente sano; necesidad que otros lo vean de manera positiva; falta de naturaleza reflexiva.

Tabla 6

Resultados de la subescala de Mentira

Nivel de ansiedad	Número de estudiantes	%
Normal	14	35.00 %
Sospechoso	9	22.50 %
Anormal	17	42.50 %
	40	100.00 %

Fuente: Elaboración propia.

La pregunta de investigación se ha respondido: el 87.50% de los estudiantes que integraron la muestra, es decir, 35 de 40 estudiantes, demostraron niveles de Ansiedad en los niveles Sospechoso y/o Anormal, conforme al AMAS-C, con estandarización para México.

Asimismo, es importante precisar que el alto porcentaje de estudiantes (42.50%) que obtuvieron un puntaje Anormal en la subescala Mentira, encuentra respaldo en diversos factores, tales como: intento por parecer psicológicamente sano; necesidad que otros lo vean de manera positiva; falta de naturaleza reflexiva; la presentación idealizada de la propia persona, es decir, existe una perspectiva exagerada o imprecisa de la propia persona; imperiosa necesidad de aprobación y aceptación; generación interna de elevados estándares, los cuales suelen ser poco realistas; sentimientos de aislamiento y rechazo social; y, una combinación de problemas emocionales, relaciones inadecuadas con compañeros, dificultades académicas o vocacionales y una situación estresante en el hogar

pueden explicar una puntuación alta en la subescala Mentira (Reynolds, Richmond & Lowe, 2007)

La subescala Mentira se relaciona con la subescala de Preocupaciones Sociales, la cual valora la ansiedad asociada con las preocupaciones acerca del punto de vista de los demás. Por tanto, si se toma en cuenta que el 67.50% de los estudiantes de la muestra tenían 18 y 19 años, se asume plenamente el origen de tal puntaje ya que la mayoría de los estudiantes aún se encuentran aún en el proceso de desarrollo y madurez emocional.

La OMS define la adolescencia como el periodo de crecimiento y desarrollo humano que se produce después de la niñez y antes de la edad adulta, entre los 10 y los 19 años (...) Esta fase de crecimiento y desarrollo viene condicionada por diversos procesos biológicos. (OMS, 2020a, párr. 1)

Lo enunciado es coherente con algunos comportamientos de la subescala Mentira: sentimientos de aislamiento y rechazo social; relaciones inadecuadas con compañeros; se preocupa demasiado acerca de su apariencia. Durante la etapa de la adolescencia, algunos individuos consideran que los amigos y la familia son fuentes de estrés en vez de ser un sistema de apoyo social y emocional. Por lo expuesto, las dos subescalas, Mentira y Preocupaciones Sociales, encuentran sustento biológico y neuropsicológico respecto a la comprensión del proceso de desarrollo y madurez emocional referido

En esta línea, no es aislado referir que el proceso de maduración de las áreas terciarias motoras (corteza prefrontal), se prolonga hasta alrededor de los 30 años. Ésta fundamental zona de los lóbulos frontales, se relaciona con el pensamiento propositivo y los tres elementos que lo regulan: el establecimiento de metas; la consideración contextual; y, la regulación emocional. (Matute & Rosselli, 2012)

Entre las funciones (...) de los lóbulos frontales destacan: la conducta motora, la resolución de problemas de planeación, la personalidad, la producción del lenguaje escrito y hablado, así como el control de los procesos cognitivos. De igual forma, existe una relación de los lóbulos frontales con la motivación y emoción debido a las conexiones con el hipotálamo (Vaquero y Vaquero; Baron; Tirapu-Ustarroz y Luna-Lario; Ardila & Rosselli en Guardado 2020).

Se debe reiterar la trascendencia del factor biológico y el carácter auxiliar que los instrumentos tienen dentro del contexto de una valoración clínica integral, incluyendo una entrevista exhaustiva, la cual tome diversos factores que concluyan en un determinado resultado. Algunas respuestas afirmativas pueden deberse a un padecimiento de salud como diabetes, hipertensión arterial u otro. (Reynolds, Richmond & Lowe, 2007)

Además del factor biológico y neuropsicológico, existen otros factores ambientales los cuales influyeron en los resultados presentados en la ansiedad con niveles sospechoso y anormal, de acuerdo con AMAS-C, con estandarización para México. Algunos de los factores de tipo exógeno que podrían ser considerados en futuras investigaciones en la materia y que pueden contribuir a comprender mejor el trastorno de ansiedad manifestado por estudiantes universitarios son:

- Carga horario-académica: los estudiantes del primer año de la licenciatura en contaduría de la universidad pública en la que se hizo el estudio tienen una carga horaria aproximada de 30 a 36 horas de clases presenciales por semana. Esta carga horaria contempla las clases de las asignaturas obligatorias de la licenciatura y las horas de clase del Centro de Idiomas de la Facultad.
- Actitudes por parte del personal académico hacia el alumnado: Las actitudes por parte del personal académico en algunos casos suelen ser peyorativas hacia el alumnado, lo cual incide en su rendimiento académico y en su autoconcepto por parte del alumnado, tales acciones vulneran la dignidad de la persona. En algunos casos, las actitudes del personal académico derivan o fomentan el acoso a nivel universitario.¹
- Libertad de cátedra: en relación con el punto anterior, se desprende el presente, ya que, justificándose en la denominada libertad de cátedra, parte del profesorado designa una carga académica que suele ser excesiva y que no necesariamente reedita en aprendizaje. Por tanto, no existe una visión holística de la carga académica que se le designa al alumno y que afecta sus esferas de desarrollo personal, familiar, social, cultural y académico.

Nivel socioeconómico pre-universitario: La universidad pública por su carácter, tiene una naturaleza heterogénea en su alumnado. No obstante, es innegable que, en América Latina, una parte importante del alumnado de la escuela pública acude a esta porque sus posibilidades de costear su educación superior en otra institución son limitadas. En este sentido las investigaciones de Izzedin & Pachajoa (citados en Mazzoni et al, 2014) refieren que la crianza tiene estrecha relación con la clase social y las diferentes costumbres sociohistóricas y culturales. La estimulación recibida por el niño en el hogar, constituye uno de los factores mediadores de la relación entre pobreza y desarrollo cognitivo. Por su

¹ Por ejemplo, en México es conocido el caso de Carlos Santamaría, el estudiante más joven inscrito en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), quien tuvo que cambiar de universidad ante los actos relativos a discriminación, difamación y malos tratos por parte de algunos docentes hacia su persona y ante los cuales la UNAM no tomó acciones contundentes a favor del alumno, a pesar de existir resoluciones a favor de éste, otorgadas por parte un tribunal colegiado.

parte, Bhoomika, Shobini & Chandramouli (citados en Mazzoni et al, 2014) señalan que la desnutrición constituye un importante factor de riesgo en el desarrollo cognitivo, afectando el crecimiento y desarrollo del cerebro y seguidamente el rendimiento en diferentes funciones cognitivas, el desempeño escolar y el comportamiento. El nivel socioeconómico se relaciona con la estimulación del infante en el hogar y la nutrición, influyendo en el desarrollo neurológico y en la conformación de los cimientos neuropsicológicos necesarios para un adecuado aprendizaje y rendimiento académico.

- Localización del plantel académico: El establecimiento de este plantel universitario desde hace más de cuatro décadas en el Estado de México, nunca vislumbró el crecimiento desordenado y exponencial que experimentaría el Valle de México en materia urbana, repercutiendo en una inadecuada movilidad de sus habitantes. Es frecuente que los alumnos realizan trayectos de dos horas o hasta tres horas para desplazarse al plantel universitario. Lo anterior, sumado a los medios de transporte y los índices de inseguridad que presenta en materia de robo de auto, bicicleta, transporte público, etc., el Estado de México, ocupando los primeros lugares a nivel nacional en esta categoría.² El estrés generado en los trayectos y en las condiciones limitadas de seguridad en el transporte público es un factor exógeno que contribuye a generar mayor ansiedad.
- Factores emergentes: Uno de los factores emergentes y determinantes durante el periodo de recolección de datos fue la confirmación de los primeros casos en México de la pandemia de COVID-19, el cual produjo el cierre de los planteles educativos en todos los niveles en el país a mediados de marzo de 2020. Esto, generó un vertiginoso cambio en el proceso de enseñanza-aprendizaje, así como en la forma de evaluación ya que algunos profesores migraron a la modalidad en línea de enseñanza, otros experimentaron dificultades, pero también se dieron casos en los que profesores no impartieron clases durante el periodo de la pandemia. Esto generó incertidumbre académica en relación con los criterios de evaluación y la forma de contactar a los docentes, aunado con las situaciones personales, familiares y laborales que experimentaron los alumnos y sus familias.

CONCLUSIONES

Los factores ambientales enunciados contribuyen a detonar o agravar factores biológicos y neuropsicológicos predisponentes, en detrimento de la salud y desempeño académico,

² En materia de los delitos contra el patrimonio, específicamente, el robo en todas sus modalidades, el Estado de México registró en un total de 11,159 casos denunciados según cifras del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2019).

personal y social del alumnado. Es puntual referir que la universidad en donde se llevó a cabo el estudio, cuenta con el área de Orientación Educativa, en la cual convergen tres áreas integradas por: un licenciado en trabajo social, una licenciada en pedagogía y cuatro licenciados en psicología.

Sin duda, se reconocen los esfuerzos establecidos por la universidad en aras de brindar una atención al alumnado; sin embargo, el desconocimiento profesional y práctico por parte de los funcionarios encargados de las áreas o secretarías de las que depende este tipo de servicios, no permiten otorgar efectividad de los servicios, debido a que el área de psicología requiere de personal con posgrado (área clínica), los cuales logren diferenciar entre comportamientos con influencia o de origen exógeno, endógeno o mixto.

Por ejemplo, un factor que no se limita a lo ambiental y que tiene una incidencia en el desarrollo neurobiológico y en las relaciones interpersonales es el maltrato infantil que pudo haber sufrido alguno o algunos de los estudiantes durante su niñez. El maltrato causa estrés y se asocia a trastornos del desarrollo cerebral temprano. Los casos extremos de estrés pueden alterar el desarrollo de los sistemas nervioso e inmunitario. Los adultos que han sufrido maltrato en la infancia corren mayor riesgo de sufrir problemas conductuales, físicos y mentales. (OMS, 2020b)

Un diagnóstico clínico que consolide no sólo el aspecto psicológico y social, también el biológico, tiende a dificultarse a un licenciado en psicología ya que los conocimientos que otorga un posgrado en una carrera de las ciencias de la salud son fundamentales para la comprensión del fenómeno comportamental y la elaboración de un diagnóstico clínico ante un problema que sólo se restringe a la esfera académica. El trastorno de ansiedad requiere un entendimiento de elementos neurobiológicos que posibiliten un diagnóstico científico, preciso y oportuno.

Se sugeriría que la universidad en atención a su comunidad estudiantil, no sólo dirija sus esfuerzos hacia los llamados exámenes psicométricos para el ingreso al nivel superior. También se necesita de atención y seguimiento psicológico hacia la comunidad a lo largo de la carrera mediante campañas de difusión y acercamiento a los alumnos, académicos y personal administrativo para tomar acciones de prevención y atención relativas a la ansiedad.

Finalmente, se recomendaría a las autoridades educativas de todos los niveles educativos en el regreso escalonado a las actividades, tomar con seriedad y con personal calificado el reto que supone reintegrar a los alumnos, académicos y personal administrativo a lo que se ha denominado en México la “nueva normalidad”. Es innegable que habrá secuelas

comportamentales de origen neurofisiológico a raíz del confinamiento producido por la pandemia que podrían incrementar la ansiedad o generar una comorbilidad, causado estragos psicológicos. Será clave la atención psicológica (clínica) enfocada a las personas que sufren de ansiedad, depresión, estrés postraumático, etc., porque se puede requerir una atención psiquiátrica en forma paralela. Lo anterior puede ser diagnosticado por un psicólogo con posgrado en el área clínica.

Las universidades y las instituciones educativas en general están frente a esta coyuntura denominada “nueva normalidad”, la cual amerita una nueva forma de entender la educación, su didáctica y al alumno en su plano académico y comportamental. Por tanto, se deberá contar con un profesorado capacitado en las TIC’ s y en comportamientos que merezcan un alertamiento, así como de especialistas en comportamiento cualificados para abordar los retos comportamentales venideros, los cuales aún lucen inciertos en los planos económico, laboral, sanitario y educativo, considerando que el índice de deserción de los universitarios se acrecentó como consecuencia de los efectos económicos de la reciente pandemia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Americana de Psiquiatría. (2013). *Guía de consulta de los criterios diagnósticos del DSM 5*. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.

Guardado, S. C. (2020). Neuropsicología organizacional y su influencia en el proceso decisorio del trabajador. *Gente Clave*, 4(1), 8-29. <http://revistas.ulatina.edu.pa/index.php/genteclave/article/view/120>

Mazzoni, C. C., Stelzer, F., Cervigni, M. A., & Martino, P. (2014). Impacto de la pobreza en el desarrollo cognitivo. Un análisis teórico de dos factores mediadores. *Liberabit. Revista de Psicología*, 20(1), 93-100.

Matute, E. & Rosselli, M. (2012). Bases biológicas y desarrollo de la función ejecutiva. En E. Matute (Ed.), *Tendencias actuales de las neurociencias cognitivas*. (pp. 101-115) México: Editorial El Manual Moderno.

Organización Mundial de la Salud. (2020a). *Desarrollo en la adolescencia*. https://www.who.int/maternal_child_adolescent/topics/adolescence/dev/es/#:~:text=La%20OMS%20define%20la%20adolescencia,10%20y%20los%2019%20a%C3%B1os.

----- (2020b). *Maltrato de menores*. https://www.who.int/topics/child_abuse/es/

----- (2019). *Clasificación Internacional de Enfermedades, 11.a revisión, 6B00 Trastorno de ansiedad generalizada*. <https://icd.who.int/browse11/l-m/es#/http://id.who.int/icd/entity/1712535455?data=%7B%22dataType%22%3A%22pc%22%2C%22postcoordinationCodeSet%22%3A%7B%22stemId%22%3A%22http%3A%2F%2Fid.who.int%2Ficd%2Fentity%2F1712535455%22%2C%22axisToValue%22%3A%7B%22hasManifestation%22%3A%5B%7B%22stemId%22%3A%22http%3A%2F%2Fid.who.int%2Ficd%2Fentity%2F1707067746%22%7D%5D%7D%7D>

----- (2017). *Salud Mental*. https://www.who.int/mental_health/es/

Organización Panamericana de la Salud. (2017). *Depresión y otros trastornos mentales comunes, Estimaciones sanitarias mundiales*. Washington, D. C.: Organización Mundial de la Salud. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/34006/PAHONMH17005-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Reynolds, C. R., Richmond, B. O. & Lowe, P. A. (2007) *Escala de Ansiedad Manifiesta en Adultos, AMAS*. México, D.F.: El Manual Moderno.

Secretaría de Salud de la Ciudad de México. (2020). *Salud Mental*. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México. <http://data.salud.cdmx.gob.mx/portal/index.php/programas-y-acciones/309>

Secretaría de Salud. (2014). *El estrés provoca ansiedad y depresión*. Ciudad de México: Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/prensa/el-estres-provoca-ansiedad-y-depresion>

- (2016). *Ansiedad, problema mental común en la adolescencia*. Ciudad de México: Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/prensa/ansiedad-problema-mental-comun-en-la-adolescencia-53424>
- (2017). *Jóvenes, vulnerables a depresión, ansiedad e impulsividad*. Ciudad de México: Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/articulos/jovenes-vulnerables-a-depresion-ansiedad-e-impulsividad>
- Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud. (2015) *¿Qué es la ansiedad?* Ciudad de México: Secretaría de Salud del Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/articulos/que-es-la-ansiedad>
- Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública. (2019). *Incidencia delictiva del fuero común México, 2019*. México: Secretaría de Seguridad y protección Ciudadana. http://secretariadoejecutivo.gob.mx/docs/pdfs/nueva-metodologia/CNSP-Delitos-2019_ene19.pdf
- Torrades, S. (2007). Estrés y burn out. *Ámbito Farmacéutico*, 26(10). 104-107. https://pdfs.semanticscholar.org/9329/76b488fd95d53541a9e81f7339e5def012a9.pdf?_ga=2.35366629.598382267.1592549254-82157705.1565934727

TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN QUIRÚRGICA HOSPITALARIA EN PANAMÁ: PERCEPCIÓN DE LOS PROFESIONALES DE LA SALUD Y CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA IEC 60601-2-41 EN HOSPITALES DEL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE PANAMÁ

TECHNOLOGIES OF HOSPITAL SURGICAL LIGHTING IN PANAMA: PERCEPTION OF HEALTH PROFESSIONALS, AND COMPLIANCE WITH NORM IEC 60601-2-41 IN HOSPITALS OF THE METROPOLITAN AREA OF THE CITY OF PANAMA

AUTOR: ROSELYN HUDSON¹, ERNESTO IBARRA^{2,3}

¹ Estudiante de la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá ² Docente de la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá, ³ Miembro de la IEEE, Capítulo Panamá

Correo: roselyn.h29@hotmail.com ; ernestoibarra@ulatina.edu.pa

Recibido: 17 de marzo de 2021

Aceptado: 22 de abril de 2021

Resumen

PALABRAS CLAVE:

Halógenas, LED, iluminación, quirófanos, centros médicos.

La iluminación quirúrgica es una herramienta primordial para los profesionales de la salud que trabajan en los quirófanos, la misma brinda un campo de trabajo óptimo para la visualización de los objetos pequeños, grandes profundidades, cavidades, incisiones y órganos del cuerpo. Actualmente en Panamá existen dos tecnologías para la iluminación quirúrgica: tipo halógena, y por diodo emisor de luz o LED (por sus siglas en inglés). Donde la primera en utilizarse fue la iluminación quirúrgica halógena, sin embargo, al avanzar la tecnología se creó e introdujo en el mercado la tecnología de iluminación quirúrgica LED. La presente investigación tiene el objetivo de conocer la percepción de los usuarios sobre las tecnologías de iluminación quirúrgica existentes en hospitales del área metropolitana de la ciudad de Panamá, así como si dichos sistemas cumplen con los niveles de luminancias establecidos en la normativa IEC 60601-2-41. Como se puede analizar, se estará estudiando primero un aspecto subjetivo (percepción) y otro objetivo (nivel de luminancia) sobre las tecnologías de iluminación quirúrgica en Panamá.



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:

Halogens, LED, lighting, operating rooms, medical centers

Abstract

Surgical lighting is a primary tool for health professionals who work in operating rooms, it provides an optimal field of work for the visualization of small objects, great depths, cavities, incisions and organs of the body. Currently in Panama there are two technologies for surgical lighting: halogen type, and by light emitting diode or LED (for its acronym in English). Where the first to be used was halogen

surgical lighting, however, by advancing technology, LED surgical lighting technology was created and introduced into the market. The present investigation is aimed at knowing the perception of users on surgical lighting technologies in hospitals in the metropolitan area of the city of Panama, as well as if such systems comply with the levels of luminance established in the norm IEC 60601-2-41. As can be analyzed, a subjective aspect (perception) and another objective will be first (luminance) on surgical lighting technologies in Panama.

INTRODUCTION

La iluminación quirúrgica es una herramienta primordial para los profesionales de la salud que trabajan en los quirófanos. Actualmente existen dos tecnologías para la iluminación quirúrgica: tipo halógena y por diodo emisor de luz o LED (por sus siglas en inglés). En los hospitales de Panamá se le ha dado muy poca importancia al proceso de selección de iluminación quirúrgica. Uno de los puntos más importantes al seleccionar el sistema de iluminación es la intensidad lumínica adecuada y la no emisión de un alto nivel de calor que pueda afectar la labor del cirujano y de los profesionales de la salud que lo acompañan en la cirugía. La iluminación en los quirófanos tiene el objetivo de brindar un campo de trabajo óptimo para la visualización de los objetos pequeños, grandes profundidades, cavidades, incisiones y órganos del cuerpo. Basados en esta premisa, evaluaremos la percepción que tienen los profesionales de la salud de algunos hospitales públicos y privados, en cuanto a los sistemas de iluminación quirúrgica e iluminancia.

Diseñaremos, y aplicaremos una encuesta para determinar la comodidad que experimentan los profesionales de la salud, especialmente los cirujanos, al trabajar con los sistemas de iluminación quirúrgica.

Determinaremos los niveles de iluminancia de los quirófanos mediante la utilización de un luxómetro. Los valores de iluminancia obtenidos serán comparados con la norma IEC 60601-2-41 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés) para el tipo de iluminación en estudio.

Desarrollo

Evaluación de los niveles de iluminación

Las normas de iluminación en Panamá fueron establecidas por la Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura (JTIA), del Ministerio de Obras Públicas (MOP), en la Ley 15 del 26 de enero de 1959, las mismas se volvieron de estricto cumplimiento mediante su publicación en la Gaceta Oficial N°.22,263 del 14 de abril de 1993. Dicha norma tiene más de 60 años de haberse formulado y ha sido la base de los niveles de iluminación utilizado en los diseños de edificaciones en nuestro país. Prueba de ello es la norma de iluminación 2600SEG293 de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), la cual incluye niveles de iluminación en diversas áreas. Por su parte, la Comisión Electrotécnica Internacional⁷ (IEC) creó en el año 2000 la Norma IEC 60601-2-41 correspondiente a requisitos particulares para la seguridad de las iluminarias quirúrgicas y luminarias para el diagnóstico médico siendo la norma vigente en la actualidad. La misma modifica y complementa la Norma IEC 60601-1 establecida en 1988 titulada como “equipos electro médicos – parte 1: requisitos generales para la seguridad”.

La Norma IEC 60601-2-41 define luminaria para cirugía mayor como una iluminación central, es decir, que ilumina localmente el cuerpo del paciente, y a su vez también define la luminaria para cirugía menor la cual está destinada para su uso en salas de operaciones para el diagnóstico y tratamiento del paciente. Ambas cuentan con una iluminación central desde 40,000 lux a 160,000 lux. La IEC realiza la creación de esta norma con el fin de garantizar la seguridad del paciente y que los niveles de iluminación sean utilizados de acuerdo con la norma establecida.

Por otra parte, también mencionamos la norma técnica DGNTI-COPANIT ISO 5149-3:2014 del Ministerio de Comercio e Industrias, Dirección General de Normas y Tecnología Industrial (DGNTI) que regula la iluminación en espacios fijos y los sistemas de iluminación de emergencia portables o fijos (Proyecto Norma Técnica DGNTI-COPANIT ISO 5149-3:2014)

Confort lumínico

El confort lumínico es aquella captación a través del sentido de la vista. Refiriéndose a los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos relacionados con la luz. En el mismo intervienen parámetros como el color de la luz, el deslumbramiento y la percepción del ojo humano que son definidos a continuación:

Color de la luz: Para obtener una buena reproducción del color, la luz ha de tener energía suficiente en todas ellas. La sensibilidad más alta del ojo humano corresponde al color amarillo-verdoso.

Deslumbramiento: Es provocado por el excesivo contraste en un espacio entre las energías radiadas por los cuerpos en función de lo iluminados que estén.

Percepción del ojo humano: A través del contraste definido como la diferencia cualitativa o cuantitativa de luz percibida en un campo visual, el ojo puede percibir los objetos. Es decir, que es necesario que existan diferencias de color, iluminación, luz y sombra para poder percibir cualquier objeto.

Iluminación quirúrgica halógena

Una luz halógena funciona como un bombillo incandescente, en su núcleo descansa un filamento de tungsteno en el centro de la cubierta de cuarzo llena de gas halógeno. A medida que se alimenta más electricidad, el bombillo de luz halógena brilla más y el carácter de la luz generada se vuelve más blanco. Mientras más blanca sea la luz, más claramente podrán ver en este caso los médicos cirujanos o el personal que se encuentre en los quirófanos de la superficie iluminada (Corporation, 2017).

En el quirófano la iluminación es proporcionada a través de tubos fluorescentes en el techo y lámparas quirúrgicas móviles. Las lámparas halógenas, brindan una mayor temperatura de color que las lámparas incandescentes, esto significa que emiten luz con un tinte blanco azulado muy intenso. La mayor parte de la energía que emite la iluminación halógena se da como luz y no como calor, lo cual indica que es más seguro cerca de los tejidos.

Iluminación quirúrgica LED

La iluminación quirúrgica es una de las herramientas de trabajo más importante para el personal que opera en los quirófanos, ya que ofrece una representación del color donde el modelo es perfectamente homogéneo, sin efecto arco iris. La cromática es esencial para una cantidad de procedimientos quirúrgicos, facilitando la identificación de diferentes tejidos y vasos (Lámparas Quirúrgicas XLED). Su diseño modular sofisticado proporciona una solución relevante para cada necesidad, como un simple cabezal para sala de evaluación con una iluminación de 160,000 Lux cada uno. Algunas de las características de contar con iluminación quirúrgica LED dentro de los quirófanos son las siguientes:

- **Eficiencia:** Para su funcionamiento, la iluminación quirúrgica LED requiere de menos energía que la iluminación quirúrgica halógena.
- **Flexibilidad de diseño:** Las lámparas LED presentan mayor versatilidad para las configuraciones de montaje.
- **Confiabilidad:** La vida útil de la iluminación quirúrgica LED es mucho más larga. El promedio de luz LED de 30,000 a 50,000 horas.

La temperatura de color se define como el predominio de alguno de los colores del espectro lumínico en las luces blancas, alterando el color blanco hacia tonos cálidos o a tonos fríos en el espectro. Es medida en grados Kelvin (°K). La IEC sugiere que la temperatura de color esté en el rango de 3,000°K a 6,700°K tanto para cirugías de luminarias menor como cirugía de luminaria mayor. está basado en una escala de 0 a 100, que expresa la capacidad de las luces para alcanzar el rendimiento de un iluminador estándar de referencia de una temperatura de color específica (LED Box)

MÉTODO

Para nuestro trabajo escogimos una muestra de cuatro hospitales, dos del sector público y dos del sector privado, a continuación, mencionados:

- Hospital Santo Tomás (HST).
- Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid (CHMDrAAM).
- Centro Médico Paitilla (CMP).
- Hospital Nacional (HN).

En los mismos utilizamos dos instrumentos: una encuesta y un luxómetro. La encuesta fue realizada a cuarenta y cuatro (44) profesionales de la salud, dentro de estos dieciséis (16) médicos cirujanos porque son aquellos que trabajan de forma directa con las lámparas quirúrgicas, por ende, sus opiniones subjetivas dentro de la encuesta son consideradas como alta. Por otro lado, también se aplicó la encuesta a veinte (20) enfermeros quirúrgicos cuyo trabajo es considerado como moderado alto ya que brindan el apoyo a los médicos durante las intervenciones quirúrgicas. Por último, se encuentra un total de ocho (8) ingenieros biomédicos quienes no trabajan de manera directa con las lámparas quirúrgicas, sin embargo, son aquellos que brindan el soporte y mantenimiento a las mismas de modo que su trabajo se considera como moderado bajo.

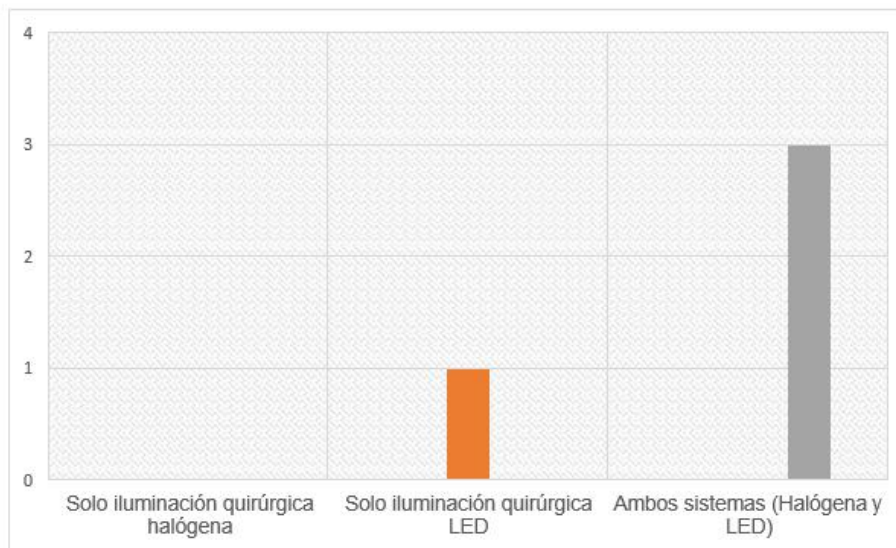
El luxómetro digital fue utilizado para medir la intensidad lumínica dentro de los quirófanos de los hospitales ya mencionados, el cual puede medir en un rango de 0.1 hasta 200,000 Lux con el fin de comprobar que la iluminación cumple con la normativa IEC 60601-2-41 para ese tipo de área. El mismo tiene como función verificar el nivel de luminancia, la medida de la cantidad de luz que cae sobre una superficie dada. Fueron tomados dos puntos de referencia, el primer punto a una altura máxima de 100 centímetros (cm) y el segundo punto a una altura media de 70 cm.

El trabajo fue dividido en dos secciones, la primera es sobre la percepción de los profesionales de la salud encuestados acerca de los sistemas de iluminación existente en los

quirófanos de las instituciones en las cuales laboran; y la segunda sección abarca la medición de la iluminancia en los quirófanos de los hospitales contemplados en la muestra, con el objetivo de determinar si los mismos cumplen con las normas de iluminación establecida para este tipo de área.

RESULTADOS

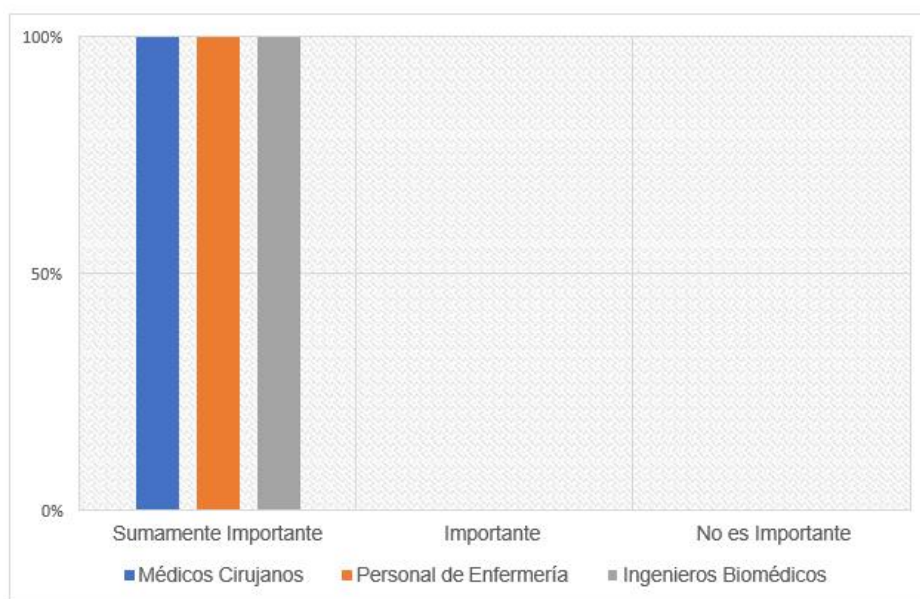
Como primera parte de nuestro trabajo, debemos identificar qué tipo de iluminación quirúrgica hay actualmente en los cuatro hospitales de la muestra. Como se puede observar en la gráfica 1, el 75% de la muestra (conformado por HST, CMP y CHMDRAAM) cuentan con iluminación quirúrgica LED y halógena, es decir que en sus quirófanos cuentan con ambas tecnologías, mientras que el 25% restante que corresponde HN, solamente cuenta con iluminación quirúrgica LED dentro de sus siete quirófanos.



Gráfica 1. Sistema de iluminación existente en los hospitales de la muestra.

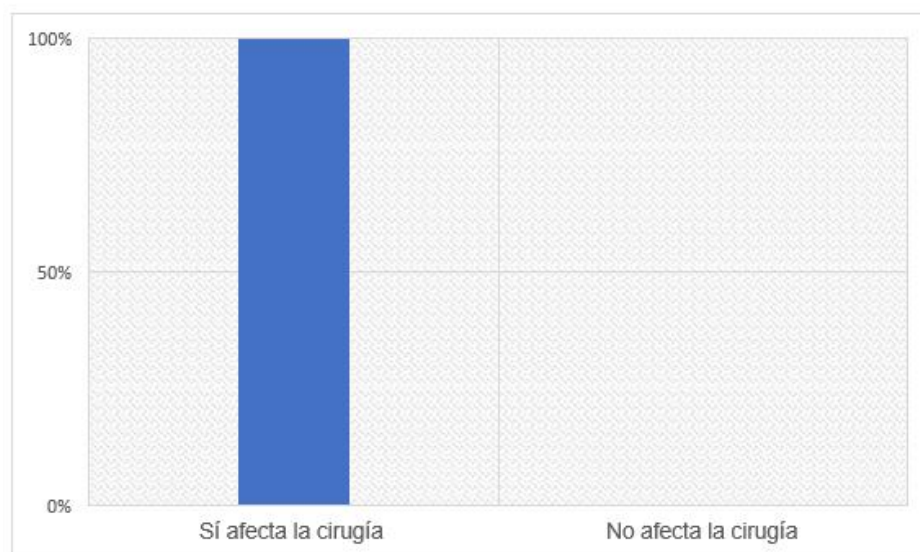
De lo anterior, se puede observar que ninguno de los cuatro hospitales de la muestra cuenta con iluminación quirúrgica halógena solamente, pero el 100% de los hospitales encuestados posee iluminación quirúrgica LED.

Para tratar de comprender este hecho, se encuestó a profesionales de la salud cuyo trabajo estuviera relacionado con la iluminación quirúrgica. Basado en esto, la gráfica 2 muestra la percepción de los médicos cirujanos, personal de enfermería y personal de ingeniería biomédica sobre la importancia que ellos le dan a la iluminación en los quirófanos.



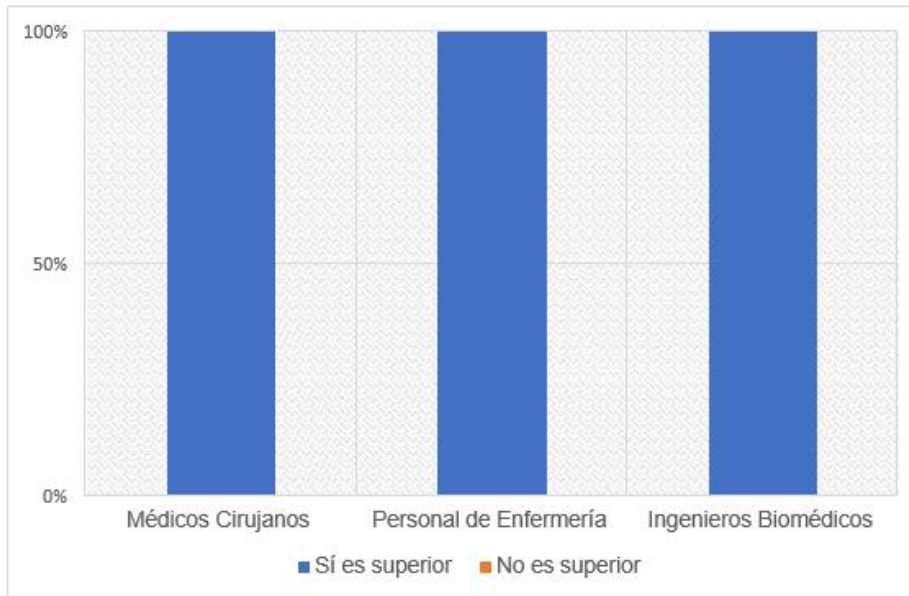
Gráfica 2. Percepción de la importancia de la iluminación en los quirófanos por los profesionales de la salud encuestados.

Como se pudo observar el 100% de los profesionales de salud encuestados piensan que la iluminación quirúrgica es sumamente importante (Ver tabla 5). Basado en lo anterior, se les consultó a los médicos cirujanos si una mala iluminación podría afectar los resultados de la cirugía. Como se puede observar en la gráfica 3 el 100% de los médicos cirujanos están convencidos de que una mala iluminación afecta negativamente los resultados de la cirugía.



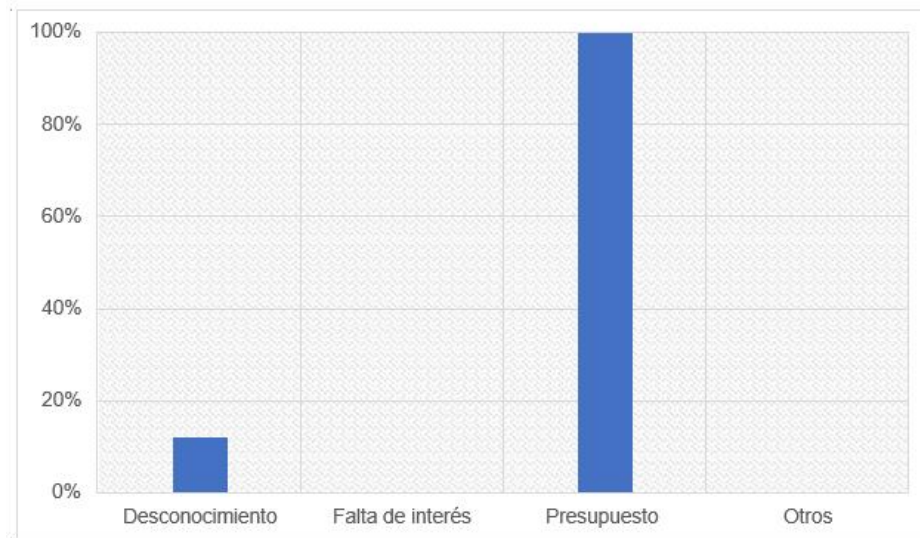
Gráfica 3. Afirmación de la mala iluminación de acuerdo con los médicos cirujanos encuestados

En cuanto a los tipos de iluminación quirúrgica, se les consultó a los profesionales de la salud (médicos cirujanos, personal de enfermería e ingenieros biomédicos) si la iluminación LED es superior a la iluminación halógena durante una cirugía.



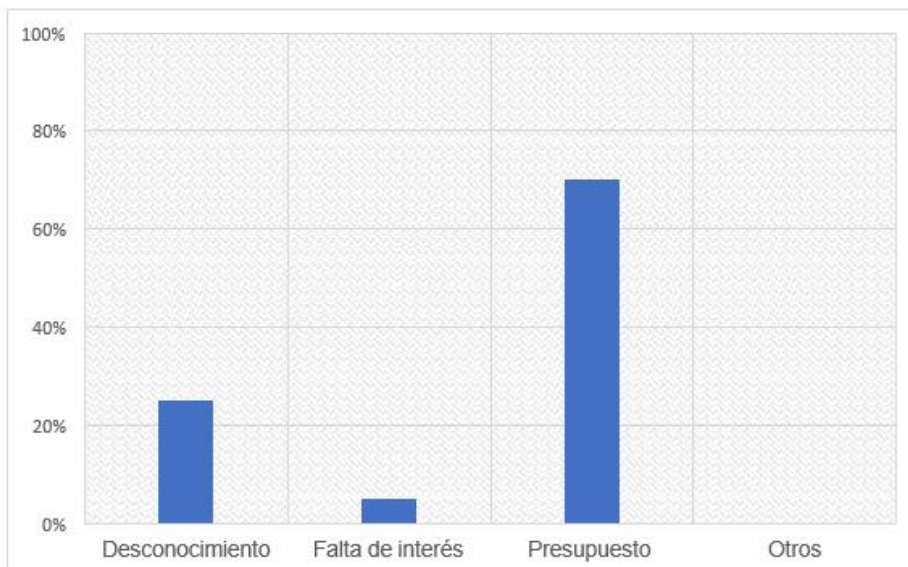
Gráfica 4. Percepción de la iluminación quirúrgica LED por los encuestados

Como se puede observar en la gráfica, el 100% de los profesionales de la salud coinciden en que la iluminación quirúrgica LED es superior en comparación a la iluminación quirúrgica halógena. Tomando en cuenta este hecho, le consultamos a los médicos cirujanos sobre cuál pensaban que era la razón de la utilización de la iluminación halógena en los quirófanos. Como resultado se obtuvo que el 88% de los médicos cirujanos opinan que la falta de presupuesto es la causa principal de que todavía se sigan utilizando la iluminación halógena (Ver gráfica 5).

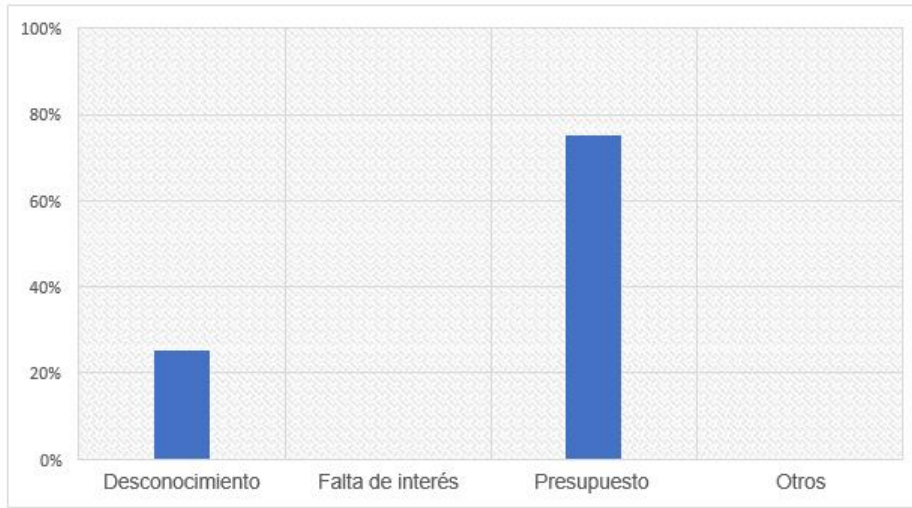


Gráfica 5. Apreciación según los médicos cirujanos del uso de iluminación quirúrgica halógena en las instituciones

Igualmente, se le consultó al personal de enfermería y al de ingeniería biomédica sobre el por qué todavía se utiliza la iluminación halógena en los quirófanos, los cuales coincidieron, con los médicos cirujanos en un 70% y 75% respectivamente, que la falta de presupuesto era la causa principal (Ver gráfica 6 y 7)

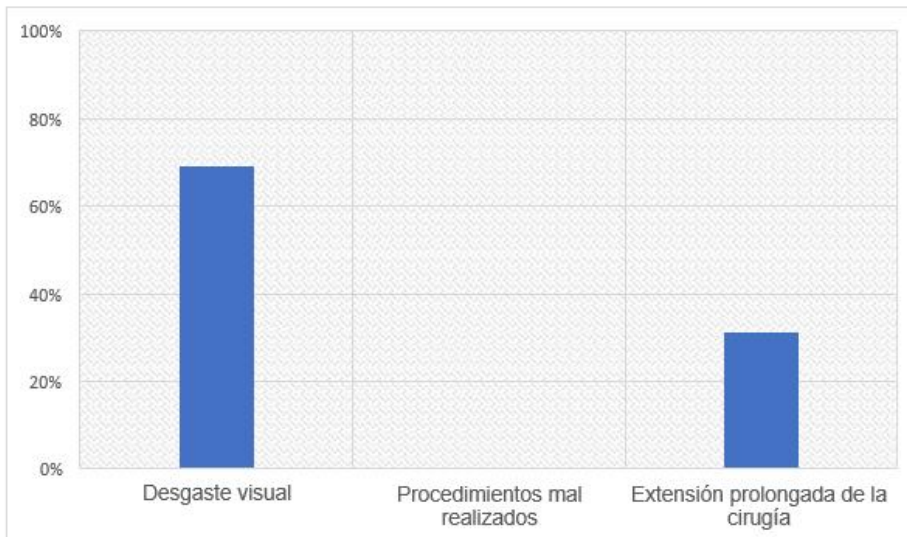


Gráfica 6. Apreciación por parte del personal de enfermería del uso de iluminación quirúrgica halógena en las instituciones



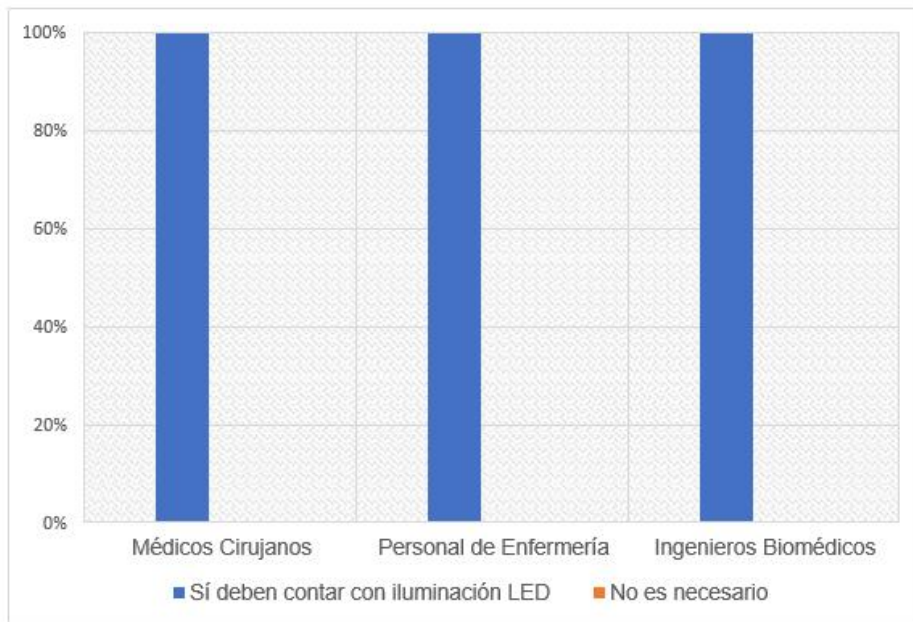
Gráfica 7. Apreciación por parte de los ingenieros biomédicos del uso de iluminación quirúrgica halógena en las instituciones

En la gráfica 8 se puede observar la respuesta de los médicos cirujanos sobre las desventajas de la utilización de la iluminación quirúrgica halógena. En dicha gráfica se muestra que el 31% destaca la extensión prolongada de la cirugía, mientras que el 69% de los encuestados señaló el desgaste visual como principal desventaja.



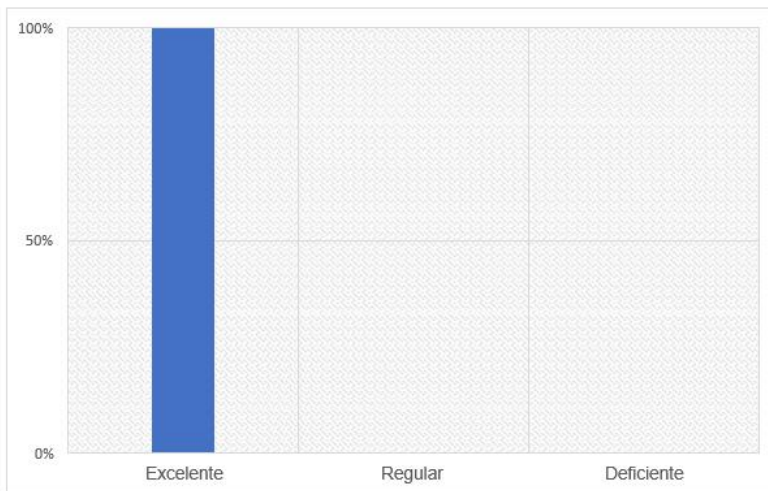
Gráfica 8. Desventajas de la iluminación quirúrgica halógena según los médicos cirujanos encuestados

Continuando con nuestra investigación, le consultamos a los profesionales de la salud sobre su opinión del cambio de tecnología quirúrgica halógena por LED. En la gráfica 9 se aprecia que el 100% de los profesionales encuestados indicaron que el cambio de tecnología es necesario.



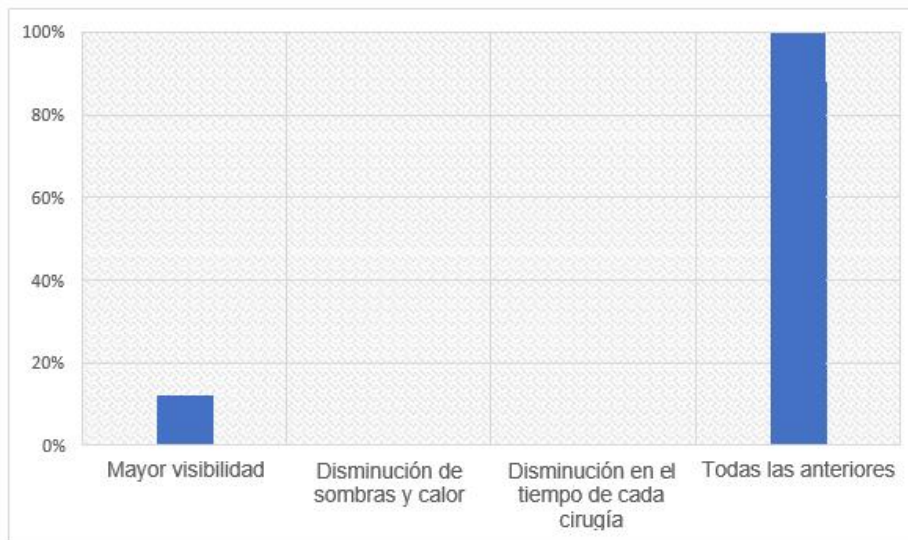
Gráfica 9. Implementación de Iluminación quirúrgica LED en las instituciones hospitalarias de acuerdo con el personal encuestado

Al consultarle a los médicos cirujanos sobre su experiencia con la iluminación quirúrgica LED, el 100% señaló que han tenido una excelente experiencia con dicho sistema (ver gráfica 10)



Gráfica 10. Experiencia con la iluminación quirúrgica LED de acuerdo con los médicos cirujanos encuestados

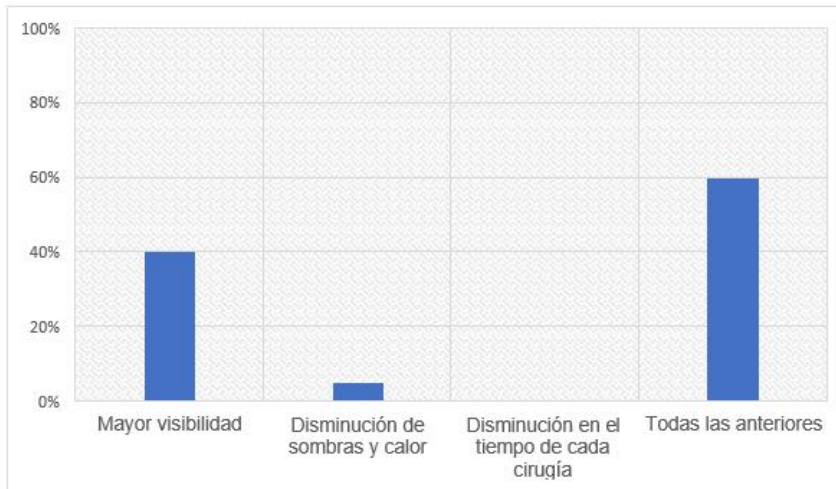
La gráfica 11 muestra los resultados de la encuesta realizada a los médicos cirujanos sobre los beneficios de la iluminación quirúrgica LED. El 88% opinó que la iluminación quirúrgica LED aporta mayor visibilidad en el campo de trabajo, disminución de sombras, calor y disminución en el tiempo de cada cirugía.



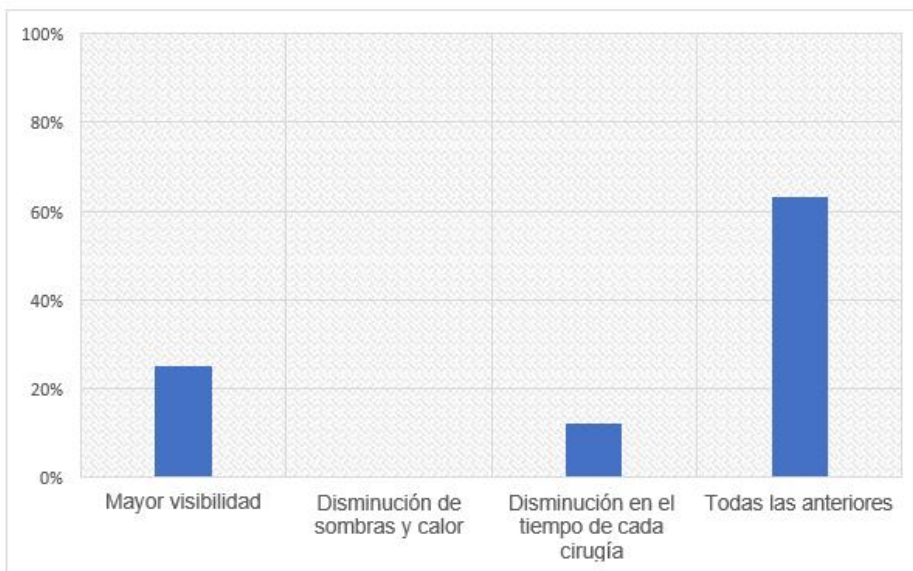
Gráfica 11. Beneficios de la iluminación quirúrgica LED según los médicos cirujanos encuestados

Igualmente, se le consultó al personal de enfermería y al de ingeniería biomédica acerca de los beneficios de la iluminación quirúrgica LED, los cuales coincidieron con los médicos

cirujanos en 60% y 63% respectivamente, que aporta mayor visibilidad en el campo de trabajo, disminución de sombras, calor y disminución en el tiempo de cada cirugía (Ver gráfica 12 y 13).



Gráfica 12. Beneficios de la iluminación quirúrgica LED según el personal de enfermería encuestada



Gráfica 13. Beneficios de la iluminación quirúrgica LED según los ingenieros biomédicos encuestados

Medición de la iluminancia en los quirófanos de los hospitales contemplados en la muestra

Medidas en el Hospital Nacional, Lámparas LED

El Hospital Nacional, es un hospital privado del área metropolitana de la ciudad de Panamá, que cuenta únicamente con iluminación quirúrgica LED. Para la ejecución de las medidas se utilizó el quirófano número 1, el cual cuenta con una lámpara de dos cabezales marca: Drager; modelo Polaris 600. A continuación, mostramos los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 1. Medidas de la intensidad lumínica LED.

Altura	Intensidad lumínica	Norma IEC 60601-2- 41	¿Cumple o no cumple con la norma?
100 cm	150,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple
70 cm	71,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple

Datos obtenidos en las mediciones realizadas

Medidas en el Centro Médico Paitilla, Lámpara Halógena y LED

El Centro Médico Paitilla, es un hospital privado ubicado en el área metropolitana de la ciudad de Panamá, en sus quirófanos cuenta con ambos sistemas de iluminación, sin embargo, predomina el sistema de iluminación quirúrgica halógena. El quirófano 4 y 6 fueron los utilizados para realizar las mediciones correspondientes, ya que uno cuenta con lámpara halógena y el otro con LED. Cabe recalcar que ambas lámparas ubicadas en los quirófanos son marca: Steris modelo; Harmony La500 y Harmony 500.

A continuación, se mostrarán las medidas tomadas tanto con la lámpara quirúrgica LED como la halógena:

Lámpara quirúrgica halógena

Tabla 2. Medidas de la intensidad lumínica halógena.

Altura	Intensidad lumínica	Norma IEC 60601-2- 41	¿Cumple o no cumple con la norma?
100 cm	86,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple
70 cm	68,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple

Datos obtenidos en las mediciones realizadas
Lámpara quirúrgica LED

Tabla 3. Medidas de la intensidad lumínica LED.

Altura	Intensidad lumínica	Norma IEC 60601-2- 41	¿Cumple o no cumple con la norma?
100 cm	100,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple
70 cm	92,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple

Datos obtenidos en las mediciones realizadas

Medidas en el Hospital Santo Tomás, Lámpara Halógena y LED

El Hospital Santo Tomás, es un hospital público ubicado en el área metropolitana de la ciudad de Panamá, cuenta con aproximadamente 11 quirófanos de los cuales 5 tienen iluminación quirúrgica LED, el resto utiliza iluminación quirúrgica halógena. Ambas lámparas de los quirófanos utilizados son marca: Steris

A continuación, se mostrarán las medidas tomadas tanto con la lámpara quirúrgica LED como la halógena:

Lámpara quirúrgica halógena

Tabla 4. Medidas de la intensidad lumínica halógena.

Altura	Intensidad lumínica	Norma IEC 60601-2- 41	¿Cumple o no cumple con la norma?
100 cm	90,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple
70 cm	42,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple

Datos obtenidos en las mediciones realizadas

Lámpara quirúrgica LED

Tabla 5. Medidas de la intensidad lumínica LED

Altura	Intensidad lumínica	Norma IEC 60601-2- 41	¿Cumple o no cumple con la norma?
100 cm	140,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple
70 cm	123,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple

Datos obtenidos en las mediciones realizadas

Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid

El Complejo Hospitalario es un hospital público ubicado en el área metropolitana de la ciudad de Panamá. Los quirófanos utilizados para realizar las medidas fueron el quirófano 6 y 9. Ambas lámparas de los quirófanos utilizados son marca: Steris, modelo Harmony LC la lámpara halógena y Harmony Air la lámpara quirúrgica LED. A continuación, se mostrarán las medidas tomadas tanto con la lámpara quirúrgica LED como la halógena:

Lámpara quirúrgica halógena

Tabla 6. Medidas de la intensidad lumínica Halógena.

Altura	Intensidad luminica	Norma IEC 60601-2-41	¿Cumple o no cumple con la norma?
100 cm	43,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple
70 cm	40,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple

Datos obtenidos en las mediciones realizadas

Lámpara quirúrgica LED

Tabla 7. Medidas de la intensidad lumínica LED.

Altura	Intensidad luminica	Norma IEC 60601-2-41	¿Cumple o no cumple con la norma?
100 cm	137,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple
70 cm	108,000 Lux	40,000 – 160,000 Lux	Cumple

Datos obtenidos en las mediciones realizadas

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación se centró en conocer la percepción de los profesionales de salud sobre las tecnologías de iluminación halógena y LED en los quirófanos; y determinar si las lámparas quirúrgicas actualmente instaladas en las instituciones hospitalarias escogidas cumplen con la normativa IEC 60601-2-41 de iluminancia. Donde hemos concluido lo siguiente:

La falta de presupuesto por parte de los hospitales es la principal razón por la cual aún contamos con iluminación quirúrgica halógena, cuando hoy en día existe una tecnología más avanzada como lo es la iluminación LED.

La iluminación quirúrgica LED se destaca por encima de la iluminación quirúrgica halógena. Mejora el campo quirúrgico, logrando mayor visibilidad, obteniendo así mejor precisión durante el procedimiento quirúrgico.

El personal de enfermería y los ingenieros biomédicos coinciden con los médicos cirujanos en cuanto que la iluminación quirúrgica LED es superior a la iluminación quirúrgica halógena.

Los hospitales donde las mediciones fueron realizadas, cumplen con la normativa IEC 60601-2-41 para los niveles de iluminancia, tanto lámparas halógenas como lámparas LED, donde se recomienda un rango de iluminancia de 40,000 hasta 160,000 Lux.

El Hospital Nacional presentó un rango de 71,000 a 150,000 Lux, el Centro Médico Paitilla un rango de 68,000 a 100,000 Lux, el Hospital Santo Tomas un rango de 42,000 a 140,000 Lux y el Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid un rango de 40,000 a 137,000 Lux.

Como conclusión general, se observa que la iluminación quirúrgica LED tiene mayor aceptación referente a la iluminación quirúrgica halógena. De acuerdo con los hospitales encuestados, durante cada año se tiene como proyección la migración o el cambio de iluminación quirúrgica halógena a iluminación quirúrgica LED en los quirófanos.

Consideraciones Especiales

De acuerdo con la encuesta realizada a los profesionales de salud (médicos cirujanos, personal de enfermería e ingenieros biomédicos) que laboran en los quirófanos, se obtuvieron las siguientes recomendaciones:

- Educar a los profesionales de la salud, principalmente, a los médicos cirujanos que aún no utilizan o no están en constante contacto con la iluminación LED por medio de las docencias para aprovechar el uso máximo de esta tecnología en las salas de cirugía.
- Considerar la aprobación de un Comité de Bioética en Panamá, donde se resalte la importancia de tener en el campo quirúrgico una iluminación apropiada, en este caso iluminación LED.

- A través del Departamento de Biomédica del hospital, ya que en la mayoría de los casos son aquellos quienes gestionan la compra, emitir un informe requiriendo el cambio de tecnología de iluminación halógena a LED en sus quirófanos, donde se muestren las ventajas que ofrece y la opinión propia de los profesionales de salud que laboran en esta área.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adriana, V., Julio, F., & Enrique, R. (2005). Guía Tecnológica No. 14 Lámparas Quirúrgicas . *Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud* , 9-10. Obtenido de http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/biomedica/guias_tecnologicas/14_gt_lamparasquirurgicas.pdf

Bovie.medical corporation . (2017). Obtenido de The Difference Between Halogen and LED Lights in Surgical Rooms: <http://www.boviemedical.com/2016/08/01/the-difference-between-halogen-and-led-lights-in-surgical-rooms/>

Caja de Seguro Social. (11 de febrero de 2015). Obtenido de CSS ADQUIERE LÁMPARAS TIPO LED PARA SALONES DE OPERACIÓN PARA EL HOSPITAL DRA. SUSANA JONES CANO: <http://www.css.gob.pa/web/11-feb-2015susanajones.html> *Caja de Seguro Social*.

HISTÓRICA DEL COMPLEJO HOSPITALARIO “DR. ARNULFO ARIAS MADRID”: <http://www.css.gob.pa/web/1-junio-2017chdaam.html>

Crestanello, D. F. (2011). *Historia de la Medicina* . Obtenido de La iluminación del campo operatorio en cirugía general : <http://www.scielo.edu.uy/pdf/rmu/v27n3/v27n3a08.pdf>

Ecu Red. (2018). Obtenido de Quirofano: <https://www.ecured.cu/Quir%C3%B3fano>

Efecto LED . (2017). Obtenido de Que es el angulo de apertura LED?: <https://www.efectoled.com/blog/es/angulo-apertura-led/>

El hospital. (agosto de 2007). Obtenido de Lámparas quirúrgicas: <http://www.elhospital.com/temas/Lamparas-quirurgicas+8057613>

- Farras, J. (s.f.). Tipo de Lámpara e Iluminación. *Iluminación*, 46.2.
- FISIC . (s.f.). Obtenido de Origen de la Luz : <https://www.fisic.ch/contenidos/ondas-y-luz/origen-de-la-luz/>
- Frenk, D. J. (2005). *Guía Tecnológica No. 14*. Obtenido de Lámparas Quirúrgicas Descripción General:
http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/biomedica/guias_tecnologicas/14_gt_lamparasquirurgicas.pdf
- Frenk, D. J. (s.f.). *Guía Tecnológica No. 14 Lámparas Quirúrgicas*. Obtenido de http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/biomedica/guias_tecnologicas/14_gt_lamparasquirurgicas.pdf
- Fuller, J. K. (2007). *Instrumentación Quirúrgica Teórica* . Madrid : Medica Panoamericana S.A.
- Fundamento de la Iluminación Quirúrgica . (2013). *Manual de Iluminación Quirúrgica* , 3-5.
- Griera, M. O., & Casals, A. (26 de junio de 2017). Obtenido de Sistema de iluminación inteligente para quirófanos <http://hospitecnia.com/instalaciones/sistema-de-iluminacion-inteligente-para-quiroyfanos/>
- Heager, K. (2014). *The Illustrated History of Surgery* . Nueva York : Routledge .
- Hernández, J. (2014). *Evaluación de los niveles de iluminación en las áreas de trabajo del Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa*. Veracruz. Obtenido de https://www.uv.mx/cosustenta/files/2014/06/ANALISIS-LATEX_VERSION-FINAL.pdf
- Institute, E. (2012). Obtenido de https://www.who.int/medical_devices/innovation/hospt equip_17.pdf
- Lámparas Quirúrgicas XLED . (s.f.). Obtenido de <https://sterislatamsp.wordpress.com/cirugia/lampara-quirurgica-xled/>

Listado de Instalaciones de Salud . (2015). *Ministerio de Salud Direccion de Planificacion*, 4. Obtenido de http://minsa.b-cdn.net/sites/default/files/publicacion-general/listado_de_instalaciones_de_salud_ano_2019.pdf

Corporation, B. M. (2017). *The Diffence Between Halogen and LED Lights ins Surgical Rooms*. Obtenido de <http://www.boviemedical.com/2016/08/01/the-difference-between-halogen-and-led-lights-in-surgical-rooms/>

Lámparas Quirúrgicas XLED. (s.f.). Obtenido de <https://sterislatamsp.wordpress.com/cirugia/lampara-quirurgica-xled/> sistema de iluminación

LED Box. (s.f.). Obtenido de Temperatura de color en las luces LED : <https://blog.ledbox.es/informacion-led/temperatura-de-color-en-las-luces-led>

Proyecto Norma Técnica DGNTI-COPANIT ISO 5149-3:2014. (s.f.). *MINISTERIO DE COMERCIO E INDUSTRIAS*, 5-6.

NUTRI-APP: SISTEMA DE TELEASISTENCIA PARA EL SEGUIMIENTO, EDUCACIÓN Y VALORACIÓN NUTRICIONAL DE PACIENTES EN ÁREAS DE DIFÍCIL ACCESO EN PANAMÁ

NUTRI-APP: TELECARE SYSTEM FOR MONITORING, EDUCATION AND NUTRITIONAL ASSESSMENT OF PATIENTS IN AREAS OF DIFFICULT ACCESS IN PANAMA

AUTOR: YARABY MELÉNDEZ¹, RANGEL ALVARADO² Y ERNESTO IBARRA²

¹ Estudiante de la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá

² Docente de la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá

Correo: yaraby3195@gmail.com; rialvarado@ulatina.edu.pa; ernestoibarra@ulatina.edu.pa

Recibido: 17 de marzo de 2021

Aceptado: 22 de abril de 2021

Resumen

PALABRAS CLAVES:

Nutrición, mHealth, APP, Telemedicina, E-Health.

Encuestas realizadas en el año 2018, por el Ministerio de Salud (MINSa) de Panamá, revelaron que a nivel nacional solo existen novecientos setenta y cuatro (974) nutricionistas para 4, 158,783 habitantes en la población panameña. Estos nutricionistas se concentran en el área metropolitana de la ciudad y pocos son los que se encuentran en áreas rurales y semiurbanas. Basado en lo anterior se planteó la creación de una aplicación (APP) para teléfono móvil que concederá el apoyo a los profesionales de la nutrición brindando de forma remota servicios de seguimiento, educación y valoración nutricional a pacientes. Se diseñará e implementará Nutri-APP la cual es un sistema de Mobile Health (mHealth) que permitirá una comunicación remota, facilitando una percepción virtual entre el paciente y el nutricionista con el fin de lograr un intercambio de información eficiente y segura. El presente estudio, se desarrolló a través de la investigación científica aplicada, se realizó dos encuestas diseñadas para recabar información logrando determinar la viabilidad de Nutri-APP. Finalmente, se pudo corroborar la relevancia de nuestro sistema Nutri-APP ya que facilitaría el trabajo de los nutricionistas clínicos en el proceso de seguimiento, educación y valoración nutricional de pacientes en áreas remotas.



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:

Nutrition,
mHealth, APP,
telemedicine,
E-Health

Abstract

Surveys carried out in 2018 by the Ministry of Health (MINSA) of Panama, revealed that at the national level there are only nine hundred and seventy-four (974) nutritionists for 4,158,783 inhabitants in the Panamanian population. These nutritionists are concentrated in the metropolitan area of the city and few are found in rural and semi-urban areas. Based on the above, the creation of an application (APP) for mobile phones was proposed that will provide support to nutrition professionals by remotely providing monitoring, education and nutritional assessment services to patients. Nutri-APP will be designed and implemented, which is a Mobile Health (mHealth) system that will allow remote communication, facilitating a virtual perception between the patient and the nutritionist in order to achieve an efficient and safe exchange of information. The present study was developed through applied scientific research, two surveys designed to collect information were carried out, determining the viability of Nutri-APP. Finally, the relevance of our Nutri-APP system could be corroborated since it would facilitate the work of clinical nutritionists in the process of monitoring, education and nutritional assessment of patients in remote areas.

INTRODUCTION

En la actualidad, el sobrepeso y la obesidad están afectando a la población debido a la práctica de una vida sedentaria, malos hábitos alimenticios, poca ingesta de agua, entre otros hábitos. Este hecho ha aumentado la aparición de enfermedades crónicas no transmisibles.

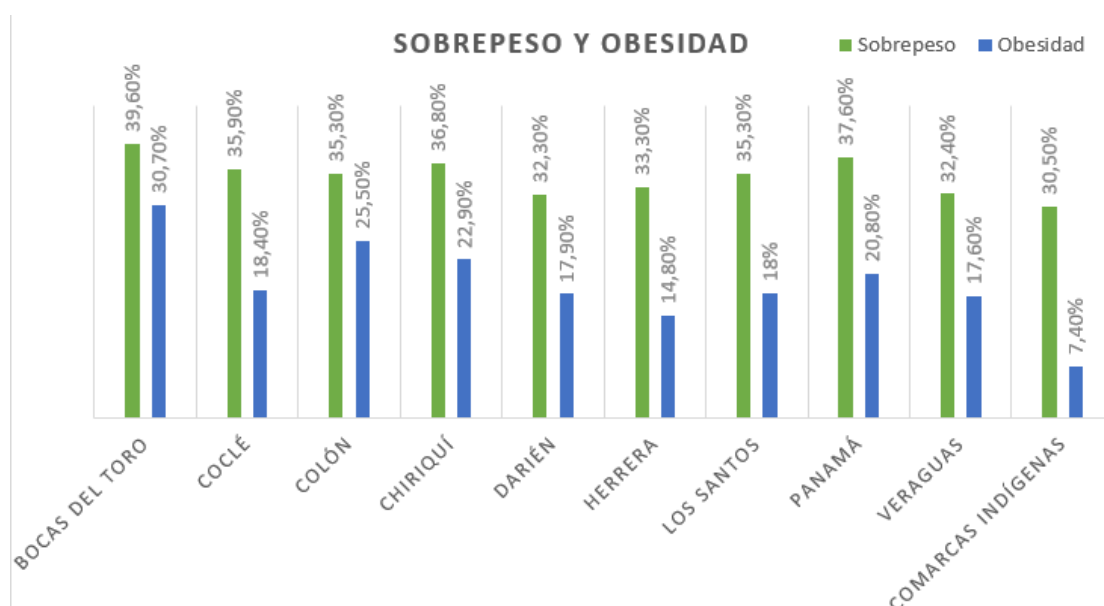
Existe una gran desigualdad de distribución de profesionales sanitarios en áreas urbanas, debido a las dificultades de trasladarse y vivir en dichas zonas de Panamá (Samaniego, 2018) (Ministerio de Salud de Panamá, 2008). Las personas que viven en áreas rurales enfrentan algunos problemas de salud diferentes a aquellas personas que viven en la ciudad (Ministerio de Salud de Panamá, 2008).

Según lo expuesto, la falta de un servicio nutricional adecuado pone en riesgo la salud de los pacientes, es por ello por lo que facilitar el acceso de los mismos es el más grande reto que debe enfrentar el sistema de salud panameño. Es importante considerar aspectos innovadores para ofrecerle a la población una mejora en el acceso a las especialidades de nutrición (Panamá América, 2018).

Sobrepeso y obesidad en Panamá : Según las estadísticas del MINSA se puede observar que gran parte de la población adulta de 18 a 75 años o más, residentes en las áreas rurales, están expuesto a padecer de sobrepeso y obesidad por llevar malos hábitos alimenticios, lo que quiere decir que están propenso a sufrir de enfermedades crónicas no transmisibles como: cardiovasculares, diabetes, cáncer, entre otras (Ministerio de Salud de Panamá, 2008) (Márquez, 2017).

En Panamá, en el año 2008, se realizó la tercera encuesta del nivel de vida sobre el estado nutricional de la población adulta de 18 a 75 años, tanto para hombres como para mujeres (Ministerio de Salud de Panamá, 2008). Conforme al MINSA, la tasa de sobrepeso y obesidad según el índice de masa corporal (IMC) por provincias y comarcas al compararlas la prevalencia de sobrepeso, fue mayor en la provincia de Bocas del Toro (Ministerio de Salud de Panamá, 2008).

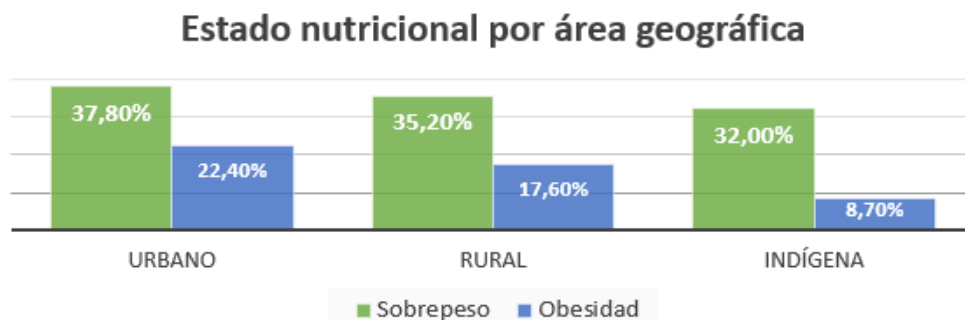
Figura No. 1 Población con mayor tasa de obesidad según IMC por provincia y comarca



Fuente: (Ministerio de Salud de Panamá, 2008)

En la investigación presentada por el MINSA, según las áreas geográficas, nos demuestra que el sobrepeso está afectando mayormente, la zona rural y urbana (Ministerio de Salud de Panamá, 2008).

Figura No. 2 Estado nutricional por área geográfica



Fuente: (Ministerio de Salud de Panamá, 2008).

Distribución de los nutricionistas dietistas en Panamá: Actualmente Panamá experimenta dificultades para cubrir las demandas de profesionales de salud en áreas alejadas de la capital del país (Mayo, 2018). A pesar de la escasez de personal de salud especializado, la mayor parte de ellos se concentran en el área metropolitana (Ministerio de Salud de Panamá, 2008). Este fenómeno obliga a los pacientes a trasladarse a la ciudad capital para recibir la atención sanitaria requerida (Ministerio de Salud de Panamá, 2008).

Muchas veces, debido a estas dificultades, los pacientes no acuden a las citas médicas y abandonan los controles y seguimientos, lo que pone en riesgo su salud (Panamá América, 2018) (Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología, 2019). Actualmente nuestro país dispone de solamente 974 profesionales de la nutrición. Tomando en cuenta que la población de Panamá es de 4,158,783 personas (Elida, 2020) (Ministerio de Salud de Panamá, 2008), podemos deducir que aproximadamente hay 1 nutricionista dietista por cada 4,269 habitantes. Lo anterior deja en evidencia la problemática por la cual está pasando Panamá en cuanto a la falta de profesionales de la nutrición.

Nutri-APP, sistema de Telenutrición basado en una aplicación móvil: La telenutrición se define como Nutrición a distancia (Vergeles, 2016). La telenutrición se presenta como un instrumento clave para realizar un servicio de sanidad más sostenible y mejorar la salud de las personas que viven en áreas rurales y suburbanas (Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología, 2019). El principal objetivo de incorporar la telenutrición en el sector sanitario es aproximar los servicios de salud a las poblaciones que se encuentren en áreas rurales permitiendo el acceso a los servicios de nutrición dietética, esta investigación tiene la finalidad de diseñar e implementar un sistema de Mobile Health (mHealth) que permita una comunicación remota a larga distancia.

Se creará un nuevo sistema llamado Nutri-App para la telenutrición, la cual optimizará el tiempo de atención en los centros de servicios sanitarios. Nutri-APP es entonces una App móvil que facilitará el intercambio de información entre el profesional de la nutrición y el paciente, con el apoyo del personal de salud local en las áreas de difícil (Cardier et al., 2016).

El sistema Nutri-APP, incluye sensores biomédicos para captar los parámetros de los pacientes. Nutri-APP es de conocimiento, la primera aplicación desarrollada como un sistema para la teleasistencia nutricional de pacientes, que combina sensores para facilitar el seguimiento educación y valoración nutricional en áreas de difícil acceso en Panamá.

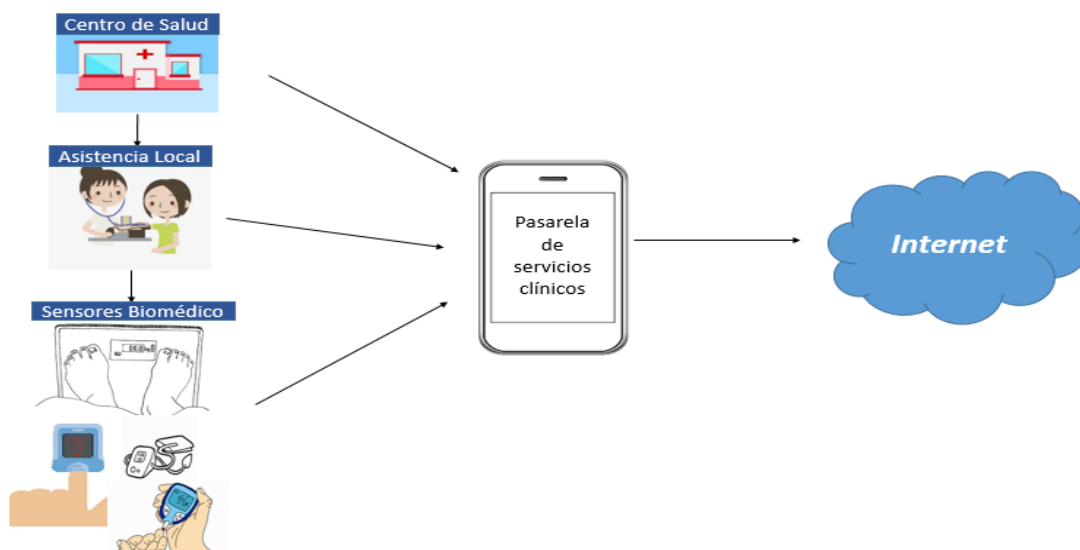
Nutri-APP: Funcionamiento: El sistema de telenutrición funcionará de la siguiente manera:

En los centros de salud que carecen de servicios de nutricionistas dietistas, se puede instalar el sistema Nutri-APP, la cual brindarán información relevante como: la cantidad de oxígeno, la presión arterial en sangre y el peso corporal. El personal disponible en los centros de salud apoyaría en la colocación de los dispositivos biomédicos y el trato con los pacientes.

La información recabada se transmitirá en tiempo real al nutricionista dietista a través del sistema Nutri-APP para que el especialista tenga acceso a ellos, Nutri-APP cuenta con dos tipos de asistencias: asistencia local y asistencia remota.

La asistencia local, integrada por profesionales de la salud encargados de la colocación de los sensores biomédicos en los pacientes, estos instrumentos estarán conectados a un dispositivo móvil (Ver Figura No. 3).

Figura No. 3 Asistencia local con Nutri-APP



Fuente: Yaraby Meléndez (2020).

En la asistencia remota, el especialista en nutrición dietética estará encargado del diagnóstico, valoración, seguimiento, educación y recomendaciones al paciente a larga distancia (Ver Figura No. 4). Una vez analizada la información el nutricionista dietista enviará sus recomendaciones y observaciones a través de la App móvil para que el profesional de la salud local siga las instrucciones.

Figura No. 4 Asistencia remota



Fuente: Yaraby Meléndez (2020).

DESARROLLO

Para ejecutar esta App se ha elegido el sistema operativo Android, la cual está compuesto de aplicaciones que son ejecutadas en un solo marco de trabajo y son un conjunto estandarizado de tecnología, que pueden servir de base para la organización y desarrollo de un software, estas Apps usan programaciones orientadas a objetos sobre el núcleo de las bibliotecas en un Virtual Machine (Dalvik) (Gironés, 2018).

Decidimos, utilizar Apps nativas ya que nos permite manejar los recursos de los dispositivos tanto del software como los del hardware (Rincón, 2012).

Nutri-APP se realizará por medio de un emulador llamado Android Studio, utilizaremos la versión 4.1.1 este está basado en un entorno de desarrollo para el sistema operativo Android, utiliza licencia de software libre, permite crear Apps que puedan ser usadas en dispositivos móviles. Android Studio proporciona las siguientes ventajas: fácil distribución de código los mismo se pueden reutilizar y permite crear diferentes versiones de la misma App (Gironés, 2018). Utilizaremos el lenguaje de programación denominado Java en la versión 8 Update 201, ya que este se logra compilar en un lenguaje intermedio llamado códigos de byte (bytecode), este código es interpretado por una máquina virtual en un entorno de ejecución denominado Java Runtime Environment (JRE) (Gironés, 2018).

También se manejarán dispositivos biomédicos de apoyo para realizar la evaluación nutricional como:

Esfigmomanómetro/monitor de frecuencia cardiaca: el esfigmomanómetro es un instrumento que se utiliza para la medición de la presión sistólica y diastólica; el monitor de frecuencia cardiaca es capaz de indicarnos el número de veces en que se contrae el corazón por minuto. El dispositivo biomédico que manejaremos captará tanto la presión arterial como la frecuencia cardiaca, lo que quiere decir que este sensor nos brindará dos mediciones de forma digital; el mismo será colocado en el brazo, precisamente en la arteria braquial, ya que es allí en donde el sensor biomédico puede captar la información. (Especificaciones técnicas; Marca: iHealth, modelo: Track (KN-550BBT), Bluetooth: 4.0, país: China)

Tabla 1

Clasificación de la tensión arterial

Clasificación	Sistólica	Diastólica
Normal	120	80
Pre- hipertensión	139	89
Hipertensión Estadio 1	140-159	90-99
Hipertensión Estadio 2	>160	>100

Fuente: (Guarnaluses & Jorge, 2016).

Glucómetro: dispositivo que mide la cantidad de azúcar que se tiene en la sangre, esta prueba se utiliza para verificar los niveles bajos o altos de glucosa. Estaremos utilizando este dispositivo de la siguiente manera: colocaremos la tira de prueba en el medidor, luego se le pinchará el dedo suavemente al paciente para que caiga la gota de sangre en dicha tira y por último este resultado se podrá observar en la pantalla del glucómetro. (Especificaciones técnicas; Bluetooth: 4.0, marca: iHealth, país: China, modelo: Gluco+ (kit BG5S)).

Tabla 2

Valores normales de los niveles de azúcar en sangre según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Diabetes	Valores
Glucosa plasmática en ayunas	≥7,0 mmol/l (126 mg/dl)
Glucosa plasmática a las 2 horas	≥11,1 mmol/l (200 mg/dl)
HbA1c (Examen en sangre)	≥6,5 %

Fuente: (Organización Mundial de la Salud, 2016).

Oxímetro: La oximetría o nivel de saturación abreviada como (SatO2) es una técnica utilizada para medir la cantidad de oxígeno que transporta la sangre. El oxímetro empleado, será colocado en el dedo índice del paciente, permitiendo medir fácilmente la cantidad de oxígeno en la sangre y realizar seguimientos de los datos personales. (Especificaciones técnicas; marca: iHealth, modelo: Air, país: China, Bluetooth: 4.0).

Tabla 3

Valores normales de saturación de oxígeno en sangre

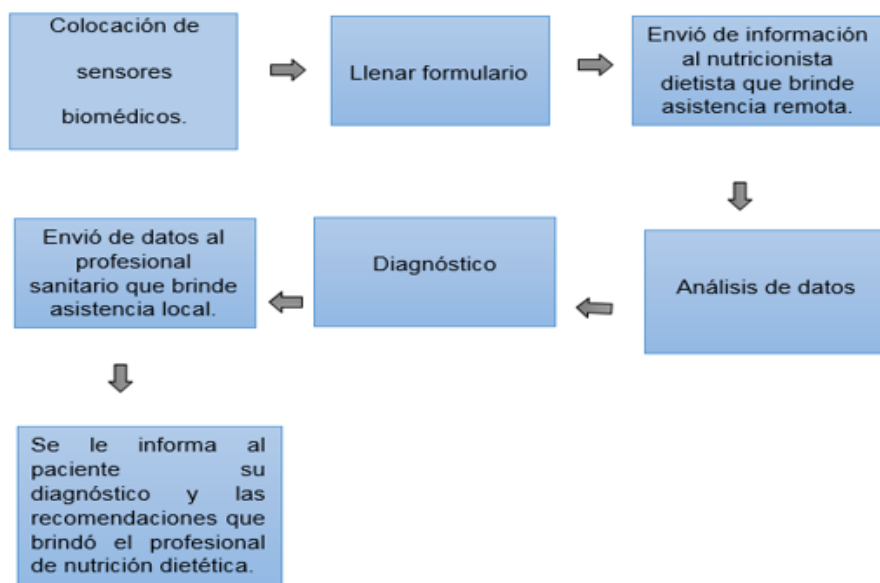
95-99%	Normal
91-94%	Hipoxia leve
86-90%	Hipoxia moderada
< 86%	Hipoxia grave

Fuente: (Society, 2013).

Báscula: es un instrumento que se utiliza para determinar el valor de la masa corporal. La báscula que se empleará permitirá ver la evolución de los siguientes indicadores confiables para realizar una evaluación verídica: masa visceral, masa muscular, masa magra, agua corporal, masa ósea, % de grasa corporal y la cantidad de calorías. (Especificaciones técnicas; marca: iHealth, modelo: iHealth fit, país: China, Bluetooth: 4.0).

Nutri-APP: Diseño y desarrollo:

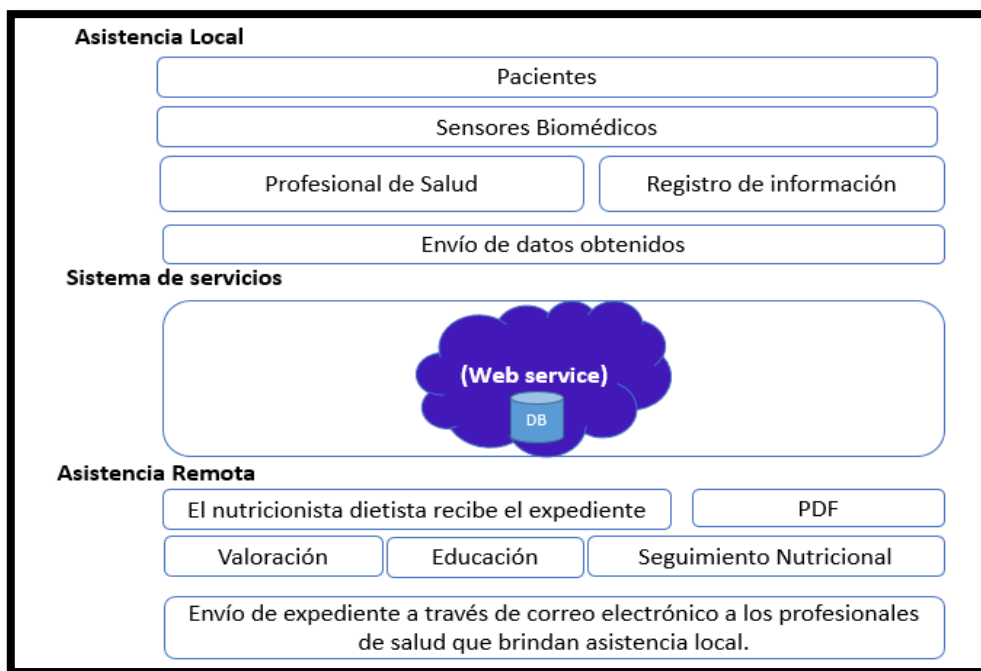
En la Figura No. 5 se muestra el proceso de la utilización de Nutri-APP.



Fuente: Yaraby Meléndez (2020).

Arquitectura de Nutri-APP:

Se basa en peticiones y respuestas (Ver Figura No. 6).



Fuente: Yaraby Meléndez (2020).

Asistencia local:

- **Pacientes:** son individuos que residen en áreas rurales o semiurbanas, que se les dificulta ir a la capital para recibir atención nutricional.
- **Sensores biomédicos:** son capaces de captar información como presión sistólica y diastólica, medir la cantidad de glucosa en sangre, indicarnos el porcentaje de oxígeno que tiene el cuerpo humano, el peso, la cantidad de agua corporal, masa muscular, % de grasa corporal, masa ósea, índice de masa muscular, clasificación de masa visceral y la ingesta diaria de calorías.
- **Profesional de salud:** es el encargado de colocarle al paciente los sensores biomédicos como el esfigmomanómetro/monitor de frecuencia cardíaca, el medidor de oxígeno y la báscula digital.
- **Registro de información:** el profesional de salud es el encargado de ingresar los datos generales del paciente en el sistema Nutri-APP, los mismos serán almacenados en la base de datos.

Sistema de servicios:

- **Internet:** una vez que los dispositivos cuenten con datos móviles o WiFi se podrá enviar y recibir el expediente del paciente.

Asistencia remota:

- **Nutricionista dietista:** el profesional de nutrición desde la capital podrá recibir los expedientes, logrando brindar valoración, educación y seguimiento nutricional a cada uno de sus pacientes; ya sea ayudándolos a ganar masa muscular, a disminuir su peso corporal, evitar enfermedades no transmisibles, entre otras.
- **PDF:** una vez que la información se envíe, el profesional de salud recibirá una notificación con los datos del paciente en formato PDF.
- **Envío de expediente a los profesionales de salud que brindan asistencia local:** el nutricionista evalúa cada expediente y lo reenvía a los profesionales sanitarios para que le informen al paciente sobre las recomendaciones brindadas.

Nutri-APP: Modelo de sistema, el mismo (Ver Figura No. 7) incluye un conjunto de servicios nutricionales ofrecidos a través de Nutri-App para apoyar el proceso de atención nutricional a larga distancia en áreas rurales y semiurbanas.

Los componentes principales de esta App incluyen lo siguiente:

- 1) App móvil para usuario final: el sistema proporciona un dispositivo móvil que apoya el proceso de atención nutricional de forma remota. A través de Nutri-APP, se registrarán todos los datos del paciente para que sean enviados al nutricionista de forma remota para conocer el estado actual del paciente.
- 2) Sistema de servicios: el sistema brinda servicios para que la información se pueda enviar fácilmente por medio de un correo electrónico con todos los datos personales del paciente (mediciones antropométricas, datos bioquímicos, entre otros), siempre y cuando estos dispositivos cuenten con una conexión vía Wi-Fi.
- 3) Panel de Nutricionistas: una vez que el nutricionista reciba el correo con la información del paciente a través de Nutri-APP se podrá conocer el estado nutricional en que se encuentra cada individuo, y así realizar evaluaciones, seguimiento, educación y valoración nutricional y, por último, dicho profesional podrá enviar a través de Nutri-APP el diagnóstico y las recomendaciones del paciente.

Figura No. 7

Modelo del sistema de Nutri-APP



Fuente: Yaraby Meléndez (2020).

MÉTODO

El presente proyecto se obtuvo a través de la investigación científica aplicada, la cual consiste en detectar, obtener y consultar las bibliografías, con el propósito de extraer y recopilar la información necesaria que aporte a nuestro problema de investigación (Hernández Sampieri et al., 2014).

Se siguen estos lineamientos, ya que permitirá conocer y analizar a profundidad las tecnologías y técnicas utilizadas para el diseño y desarrollo de esta App que hemos llamado Nutri-APP.

La presente investigación se realizó en cuatro fases:

- **FASE I:** se basó en una recopilación documental acerca del estado del arte y de trabajos relacionados a las App móviles en nutrición clínica.
- **FASE II:** consistió en el diseño y aplicación de una encuesta a los profesionales y estudiantes de nutrición dietética para determinar la viabilidad de una App móvil, basándonos en la telenutrición.
- **FASE III:** desarrollo de una App móvil para la evaluación, seguimiento, educación y valoración nutricional de pacientes a larga distancia, utilizando los resultados obtenidos de las encuestas anteriormente aplicadas.
- **FASE IV:** consta del diseño y aplicación de una nueva encuesta a los estudiantes universitarios y a los profesionales, después de haber utilizado nuestra App móvil para determinar su percepción acerca de sus atributos para brindar teleasistencia nutricional a pacientes en áreas apartadas.

Muestra: En Panamá solo existen tres universidades que imparten la carrera de Nutrición Dietética, la primera es la Universidad de Panamá (UP), la segunda es la Universidad Americana de Panamá (UAM) y la tercera es la Universidad Interamericana de Panamá (UIP). La muestra seleccionada corresponde a los estudiantes de la UIP debido a que se tuvo acceso a ellos, mientras que, los estudiantes de la UP y la UAM al momento de realizar la encuesta no estaban disponibles, por lo tanto, no fueron tomados en cuenta. En esta investigación, dicha encuesta fue aplicada a 25 estudiantes de tercer año de Nutrición Dietética ya que estos están relacionados a las Apps nutricionales que se encuentran actualmente en el mercado. En cuanto a los profesionales, se optó por tomar la muestra al

azar a 8 nutricionistas dietistas recién graduados que laboran en identidades privadas como gimnasios, clínicas, estéticas, entre otras.

Dada la población mencionada de estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y los profesionales de nutrición dietética, se obtuvo una muestra total de 33 personas.

Descripción del instrumento: Para medir la percepción de los estudiantes y de los profesionales de nutrición dietética, se aplicaron dos instrumentos con la técnica denominada encuesta, para sustentar los resultados.

Se diseño y se implementó, las siguientes encuestas:

- **Encuesta No.1:** primero se elaboró un cuestionario dirigido a los estudiantes y a los profesionales de nutrición clínica. Luego, fue aplicada en el campus de la UIP. También se seleccionaron profesionales de nutrición de diferentes empresas privadas para aplicarles la misma.

El objetivo de la primera encuesta permitió conocer las opiniones de los estudiantes y de los profesionales de nutrición dietética respecto al uso de las nuevas tecnologías para la teleasistencia nutricional, esta encuesta cuenta con 10 preguntas, orientada a la obtención de información, la misma posee escalas sencillas de comprender.

Esta encuesta está diseñada para recabar información acerca de la percepción de los encuestados en cuanto a conocimientos de Apps, su importancia al momento de utilizar las Apps, entre otras.
- **Encuesta No.2:** Se determina qué tan funcional es el sistema Nutri-APP para poder brindar servicios nutricionales en áreas semiurbanas, la misma está constituida por 10 preguntas. Estos instrumentos permitirán conocer el punto de vista de los estudiantes universitarios y de los profesionales acerca de la utilización de tecnologías móviles para llevar los servicios de evaluación, seguimiento, educación y valoración nutricional en áreas semiurbanas. Este cuestionario fue diseñado para conocer las percepciones de las personas encuestadas acerca de la facilidad de uso del sistema Nutri-APP, su utilidad, entre otros aspectos.

Con toda la información recolectada se inició el análisis, qué sirvió para realizar nuestro sistema llamado Nutri-APP.

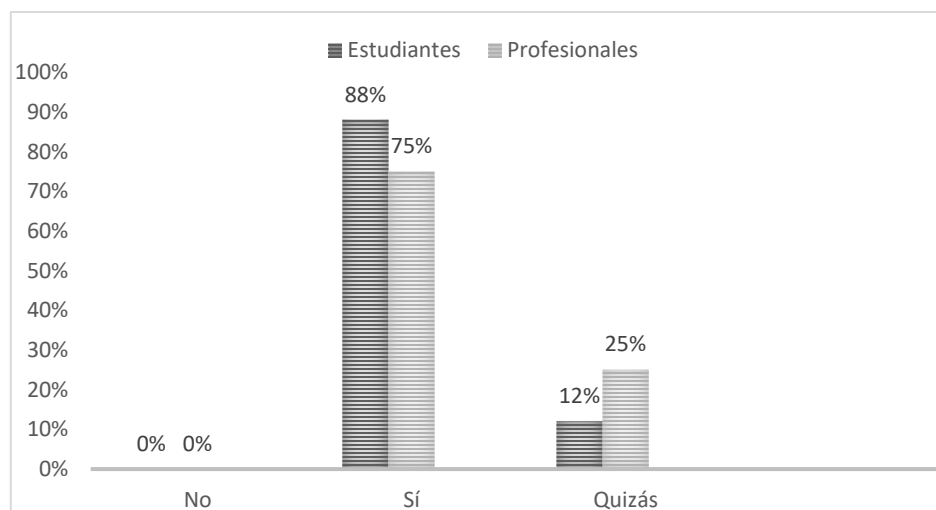
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para realizar el análisis de esta investigación se recolectaron los datos de las encuestas ya ejecutadas, se tabulo dicha información y posteriormente se llevó a cabo la confección de las gráficas, indicando los siguientes resultados:

Pre-utilización de Nutri-APP en los estudiantes y profesionales de nutrición dietética:

Grafica no. 1

¿Sabes que es una Aplicación móvil o lo has escuchado?



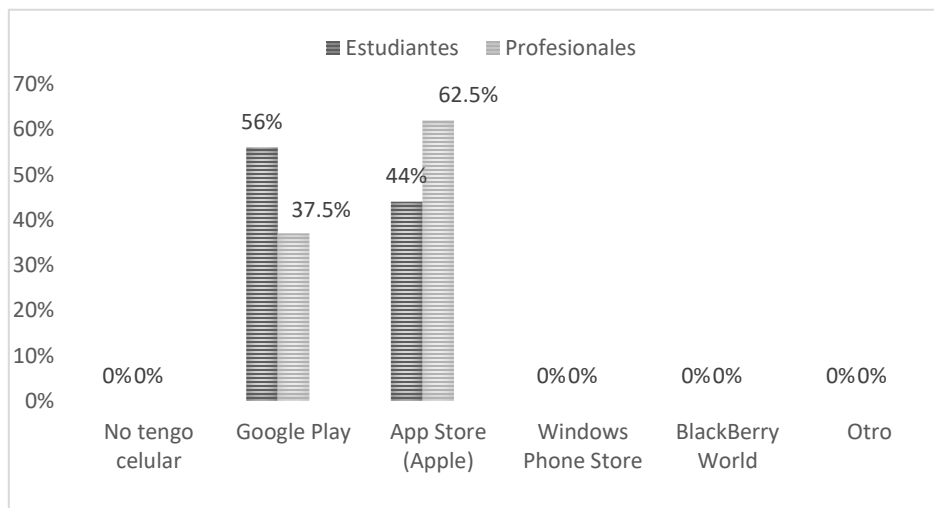
Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y a los licenciados clínicos en Nutrición Dietética. Diciembre de 2019.

El 88% de los estudiantes y el 75% de los profesionales de nutrición dietética manifestaron que sí saben que es una App móvil, mientras que, el 12% de los estudiantes y el 25% de los profesionales indicaron que quizás saben qué es una App.

Grafica No.2*¿Usa frecuentemente aplicaciones móviles en su smartphone?*

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y a los licenciados clínicos en Nutrición Dietética. Diciembre de 2019.

En esta gráfica, el 60% de los estudiantes y el 50% de los licenciados respondieron que siempre utilizan App móviles en sus smartphones, el 24% de los estudiantes y el 12.5% de los profesionales indicaron que muy a menudo, mientras que, el 16% de los estudiantes y el 37.5% de los profesionales clínicos manifestaron que rara vez usan App móviles.

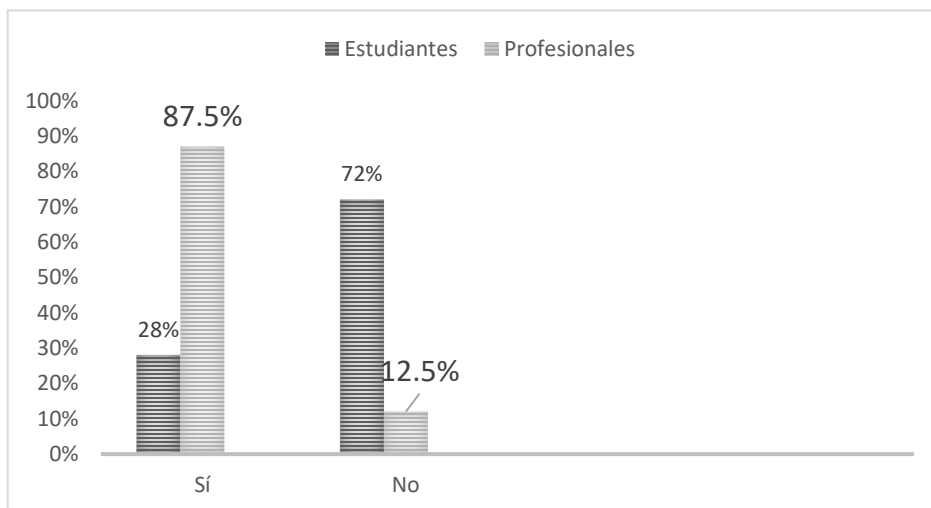
Grafica No.3*¿De dónde acostumbra a descargar las aplicaciones móviles?*

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y a los licenciados clínicos en Nutrición Dietética. Diciembre de 2019.

Se puede observar que el 56% de los estudiantes y el 37.5% de los profesionales respondieron que descargan sus Apps en Google Play, mientras que, el 44% de los estudiantes y el 62.5% de los licenciados clínicos reconocieron que utilizan App Store.

Grafica No. 4

¿utiliza herramientas tecnológicas para brindar atención nutricional?

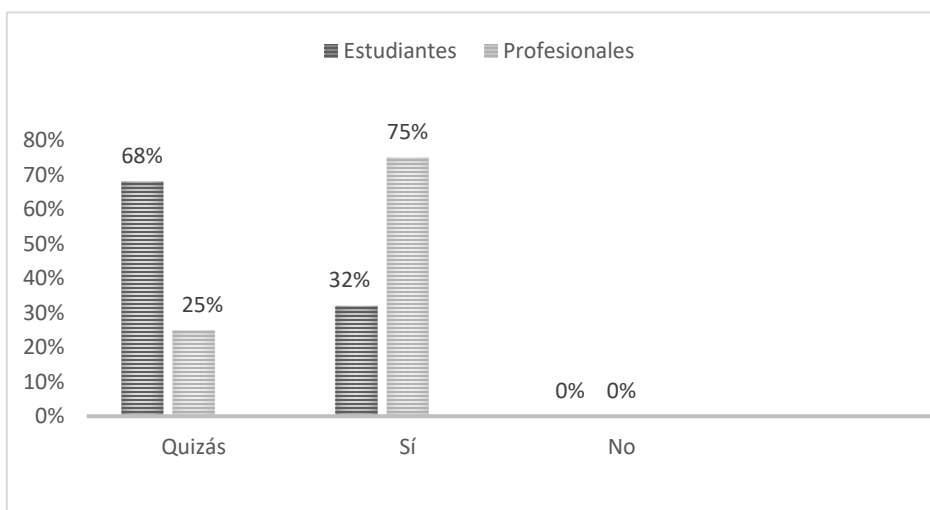


Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y a los licenciados clínicos en Nutrición Dietética. Diciembre de 2019.

El 72% de los estudiantes y el 12.5% de los profesionales encuestados manifestaron que no utilizan herramientas tecnológicas para brindar atención nutricional, mientras que el 28% de los estudiantes y el 87.5% de los licenciados clínicos en nutrición manifestaron que sí utilizan herramientas tecnológicas.

Grafica No.5

¿Confiaría en el uso de aplicaciones móviles para brindar atención nutricional?



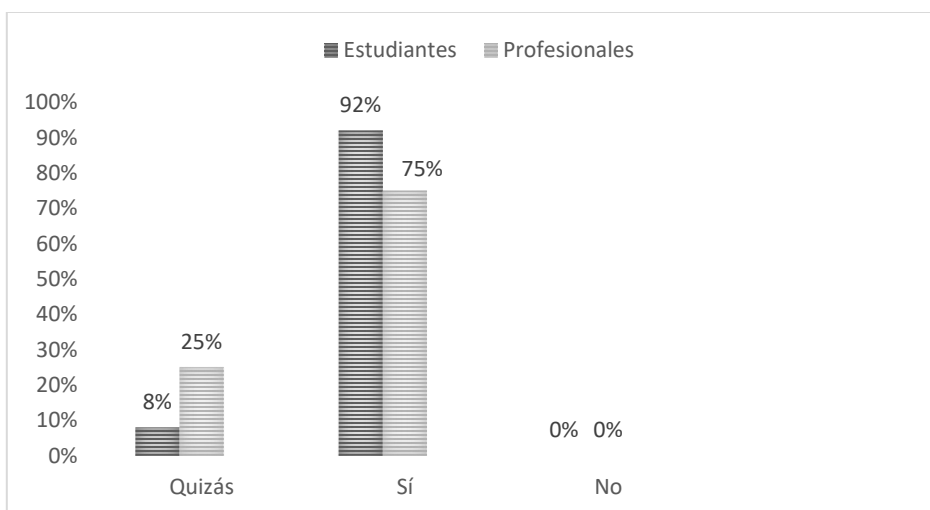
Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y a los licenciados clínicos en Nutrición Dietética. Diciembre de 2019.

Al preguntar si confiarían en el uso de Apps móviles para brindar atención nutricional, el 68% de los estudiantes y el 25% de los profesionales opinaron que quizás confiarían en ellas, mientras que el 32% de los estudiantes encuestados y el 75% de los licenciados en Nutrición Dietética indicaron que sí.

Post-utilización de Nutri-APP en los estudiantes y profesionales de Nutrición Dietética:

Grafica No.6

¿Cree usted que Nutri-APP, sería de ayuda tanto para los profesionales de nutrición como para los pacientes que se encuentren en áreas de difícil acceso?

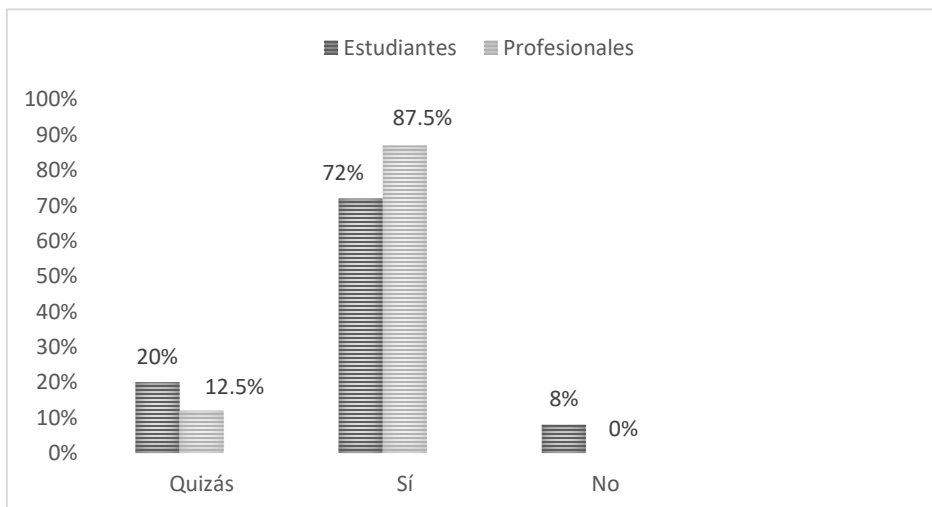


Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y a los licenciados clínicos en Nutrición Dietética. Diciembre de 2019.

En la presente grafica se evidencia, que el 92% de los estudiantes y el 75% de los profesionales encuestados consideran que Nutri-App sí será de ayuda, tanto para los profesionales de nutrición como para los pacientes que se encuentren en áreas de difícil acceso, mientras que el 8% de los estudiantes y el 25% de los licenciados en nutrición señalaron que quizás puede ser de ayuda para realizar dicha tarea.

Grafica No.7

¿Cree usted que Nutri-APP se puede utilizar para brindar valoración, seguimiento y educación nutricional?

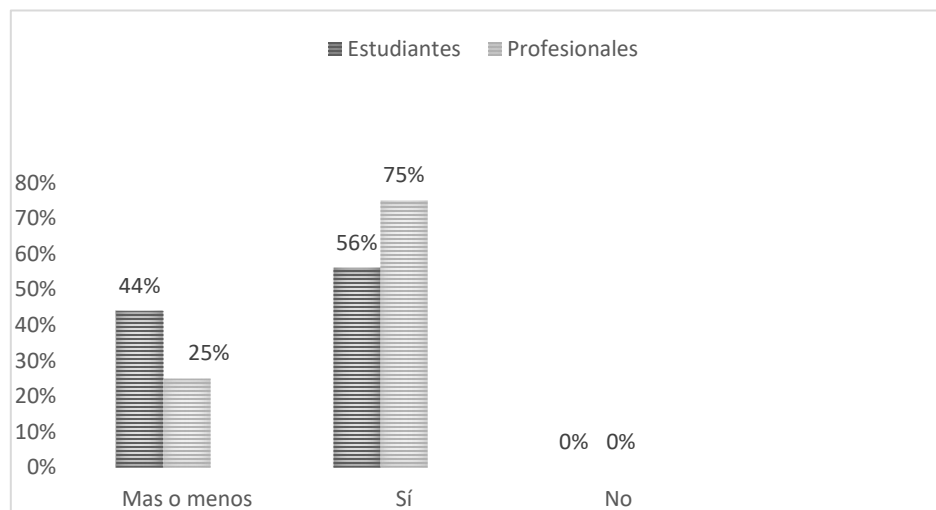


Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y a los licenciados clínicos en Nutrición Dietética. Diciembre de 2019.

Las evidencias demuestran que el 72% de los estudiantes y el 87.5% de los profesionales encuestados indican que Nutri-APP se puede utilizar para brindar seguimiento, educación y valoración nutricional, el 20% de los estudiantes y el 12.5% de los expertos en nutrición determinaron, que quizás puede brindar dicha atención, el 8% de los estudiantes expresaron que no.

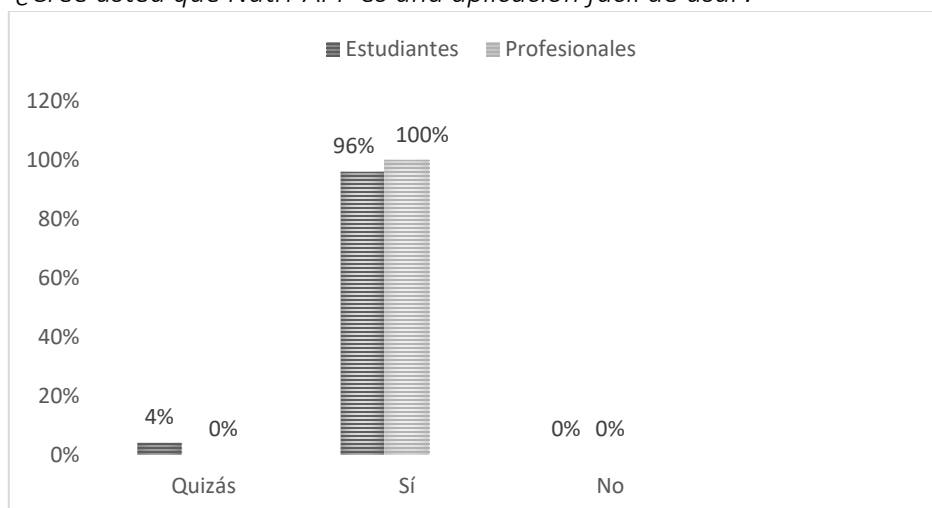
Grafica No. 8

¿Esta aplicación cumple con los parámetros para realizar una evaluación nutricional a larga distancia?



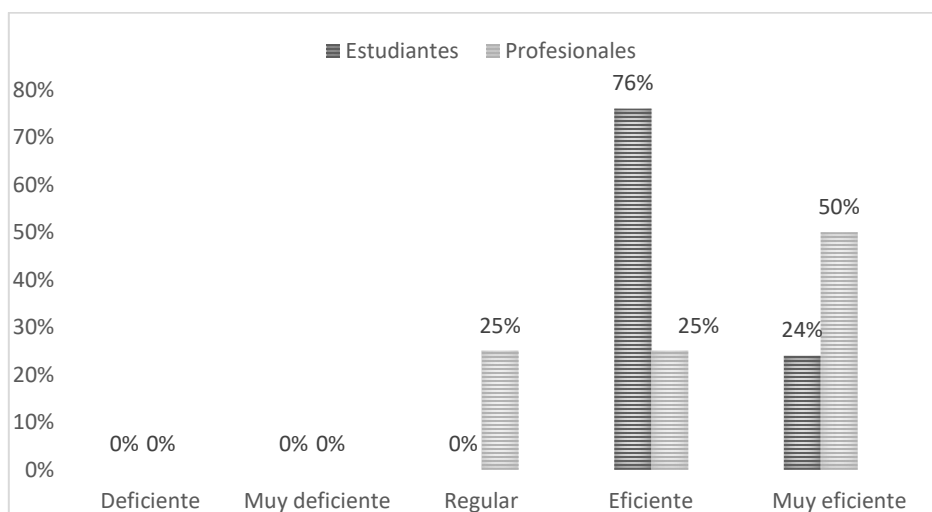
Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y a los licenciados clínicos en Nutrición Dietética. Diciembre de 2019.

En la presente gráfica, se refleja que el 56% de los estudiantes y el 75% de los profesionales encuestados al utilizar Nutri-App consideraron que sí cumple con los parámetros para realizar una evaluación nutricional en áreas semiurbanas, en cambio, el 46% de los estudiantes y el 25% de los licenciados en nutrición dietética expresaron que más o menos puede cumplir con dichos parámetros.

Grafica No. 9*¿Cree usted que Nutri-APP es una aplicación fácil de usar?*

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y a los licenciados clínicos en Nutrición Dietética. Diciembre de 2019.

El 96% de los estudiantes y el 100% de los profesionales encuestados de nutrición dietética opinaron, que Nutri-APP es una App fácil de usar, mientras que el 4% de los estudiantes señalaron que quizás puede ser fácil.

Grafica No.10*¿Como profesional de la salud cómo califica Nutri-APP?*

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de Nutrición Dietética de la UIP y a los licenciados clínicos en Nutrición Dietética. Diciembre de 2019.

En esta gráfica se percibe que el 76% de los estudiantes y el 25% de los profesionales opinaron que el sistema Nutri-APP es eficiente, el 24% de los estudiantes y el 50% de los expertos en nutrición, indicaron que es muy eficiente, mientras que el 25% de los expertos clínicos señalaron que el sistema Nutri-APP es regular.

CONCLUSIONES

El presente proyecto, el cual se basó en el diseño y desarrollo de Nutri-APP, se pudo corroborar que dicha App, ayudará a reducir las desigualdades en la población, en cuanto a tener acceso a los servicios de salud nutricionales, independientemente de la localización geográfica.

Por otro lado, en esta investigación, hemos realizado dos encuestas para determinar los parámetros generales y relevantes a través de un cuestionario basado en escalas sencillas.

Se obtuvo, buena percepción por parte de los encuestados ya que más de la mitad de estos, expresaron, que Nutri-APP, es una herramienta útil para brindar seguimiento, educación y valoración nutricional en áreas remotas, puesto a que les facilitaría el trabajo a los nutricionistas, debido a que no tendrán que realizar largos recorridos y a los pacientes ya que no viajarán hasta la ciudad para recibir atención nutricional.

Según los resultados de la encuesta, se logró contemplar que Nutri-APP, cumple con los parámetros nutricionales para poder brindar una atención eficiente, segura y sostenible ya que dicha información del paciente se transmitirá en tiempo real.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología. (2019). La telemedicina, una solución posible a los problemas de acceso a la salud en América Latina. *DiCYT*. <https://noticiasdela ciencia.com/art/31462/la-telemedicina-una->

solucion-posible-a-los-problemas-de-acceso-a-la-salud-en-america-latina

Cardier, D. M., Manrique, D. R., Huarte, D. A., & Et All. (2016). TELEMEDICINA. ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS. *Clínica Universidad de Navarra*, 27(6)(November). <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.11.016>

Elida, L. (2020). *Cantidad de nutricionistas en Panamá*.

Gironés, J. (2018). *El gran libro de Android. Séptima edición*.

Guarnaluses, B., & Jorge, L. (2016). Algunas consideraciones sobre la hipertensión arterial. *Redalyc*, 20. <https://www.redalyc.org/pdf/3684/368448441015.pdf>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*.

Márquez, E. (2017). *IMPACTO DE LAS APPS DE NUTRICIÓN EN LA MEJORA DE LOS HÁBITOS ALIMENTARIOS*.

Mayo, M. (2018). Realidades del sistema de salud. *La Prensa*. https://www.prensa.com/opinion/Realidades-sistema-salud_0_4950254987.html

Ministerio de Salud de Panamá. (2008). SITUACIÓN ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL DE LA POBLACION PANAMEÑA BASADA EN LA TERCERA ENCUESTA DE NIVELES DE VIDA - 2008. *DEPARTAMENTO DE SALUD NUTRICIONAL*. <http://www.incap.int/index.php/es/publicaciones-externas/253-situacion-alimentaria-y-nutricional-de-la-poblacion-panamena-basada-en-la-tercera-encuesta-de-niveles-de-vida-2008/file>

Organización Mundial de la Salud. (2016). *Diabetes*. https://www.who.int/topics/diabetes_mellitus/es/

Panamá América. (2018). *Citas en la Caja del Seguro Social se pierden por ausencia de pacientes*. <https://www.panamaamerica.com.pa/sinseccion/citas-en-la-caja-del-seguro-social-se-pierden-por-ausencia-de-pacientes-1093171>

- Rincón, P. (2012). *NATIVAS CON CONSUMO DE APIS ONLINE , ESTUDIO APLICACIONES WEB MOVILES EN IOS Y ANDROID Y CASO PRACTICO DE “ NATIVE CLIENT ” PARA WORDPRESS*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Samaniego, A. (2018). Falta de médicos y enfermeras se agrava en las comarcas de Panamá. *La Prensa*. https://www.prensa.com/impresa/panorama/Falta-medicos-enfermeras-comarcas-Panama_0_5050744952.html
- Society, A. T. (2013). Oximetría de pulso. *American Thoracic Society*, 184, 1–2.
- Vergeles, J. M. (2016). La telemedicina . Desarrollo , ventajas y dudas. *CES Medicina*.