

DIGITAL CIENCIA@UAQRO

ISSN: 2395 – 8847

VOLUMEN 14 NÚMERO 1

ENERO – JUNIO 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
DIRECCIÓN DE POSGRADO





PRESENTACIÓN

La revista Digital Ciencia@UAQRO, como el ámbito universitario en general, ha resentido las limitantes adoptadas por las medidas higiénicas de sana convivencia durante la pandemia actual. El uso restringido de los laboratorios de estas casas de estudio ha constituido un obstáculo para realizar investigación en aquellas disciplinas que los requieren. En este número, se incluyen cartas al editor, artículos de revisión y artículos de investigación:

Cartas al editor: “Actualizaciones en el manejo de heridas”, la cual nos da a conocer los productos y la tecnología con los que se cuenta actualmente para tratar las heridas. Además, proporciona una breve reseña histórica sobre el manejo de las heridas y relata cuáles son los tejidos involucrados y las fases evolutivas de las mismas. “Y las plantas ... ¿sienten?” nos indica la forma en que la planta percibe algunos estímulos externos y los transforma en señales eléctricas que se propagan de diferentes maneras a través de sus tejidos. “El arquetipo del fracaso”, elaborado por una joven estudiante, con la visión fresca que la caracteriza, señala los problemas que trae consigo la movilidad urbana y la manera en que el crecimiento de las ciudades ha respondido a la misma, incluyendo los sistemas adoptados para solucionar algunos de los problemas percibidos e indicando que las medidas no pueden aplicarse a todas las ciudades, pues estas son como las personas, diferentes entre sí.

Artículos de revisión: “Acuaponía” es una técnica que ocupa dos tipos de cultivo, el de peces (acuicultura) y el de plantas (hidroponía). En él se presenta una clasificación sobre diferentes diseños, considerando acomodos espaciales, especies de peces y plantas y adaptaciones en la recirculación de agua. Enfatiza, además, la ventaja que ofrece el uso de esta técnica sobre la ecología. “Aproximación a un marco de referencia teórico del cambio tecnológico” es una revisión de la literatura de los principales enfoques teóricos del cambio tecnológico, en el que se evidencia una prevalencia del enfoque de Schumpeter y la economía evolutiva, así como la propuesta por Kurzweil, la cual sugiere una dinámica del cambio tecnológico exponencial. “Cultura de paz y medios alternos de solución de conflictos, la importancia de su práctica en el aula universitaria” enfatiza la importancia de la educación para alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible, relata cómo se identifica el conocimiento, las habilidades e interés de los estudiantes sobre la justicia alternativa; posteriormente, cómo se simula la mediación en los ámbitos escolar, familiar y comunitario para la práctica de medios alternos en la solución de conflictos, con el propósito de favorecer la formación de competencias y adquirir mayores oportunidades de inserción en el ámbito laboral. “Revalorización de residuos del café: rumbo a una economía circular” es un artículo que propone el uso de los residuos del beneficio del café para la producción de pellets combustibles, como una alternativa

a las propuestas anteriormente por otros autores, entre las cuales se incluyen lombricultura, fertilizantes, abono orgánico y producción de papel, entre otras. La producción de pellets biocombustibles a partir de los residuos del café permitiría que la industria del café migrara hacia una economía circular, con bajo impacto ambiental.

Artículos de investigación: “Efecto térmico del blanqueado culinario” describe porqué el contenido de compuestos fenólicos de los quelites son benéficos para la salud y muestra el efecto del blanqueado culinario sobre estos compuestos de 8 diferentes quelites mexicanos. Los resultados del estudio muestran la variación entre las muestras crudas y las muestras blanqueadas en los diferentes tipos de compuestos fenólicos estudiados. “La propagación de los ciclos económicos en el sector agropecuario en México 1960–2015” proporciona evidencia empírica sobre estos ciclos y los resultados del análisis de los sectores agropecuario e industrial manufacturero sugieren la existencia de asimetrías dentro de las dos fases, contracción y recuperación, que caracterizan al ciclo económico. En ninguna de las tres series analizadas fueron simétricas en duración ni amplitud. En la fase de contracción la economía nacional presenta una media mayor que la media de la fase de recuperación, lo cual se presenta en el caso del sector agropecuario; sin embargo, esto no se cumple en el caso del sector industrial manufacturero, ya que la media

en términos absolutos en la fase de contracción fue menor que en la fase de recuperación. En el artículo “Relación entre la estructura organizacional y el desempeño organizacional en los Centros Públicos de Investigación” se muestran los resultados del análisis del efecto de las variables administrativas: intensidad administrativa, diferenciación vertical, diferenciación funcional, especialización y centralización, sobre la productividad. Los resultados de esta investigación mostraron que las variables con un efecto positivo sobre la productividad fueron la intensidad administrativa, la diversificación funcional y la especialización, mientras que la diversificación vertical y la descentralización mostraron un efecto negativo. Estos resultados proporcionan información para el seguimiento y evaluación del sistema organizacional de los Centros. En el artículo “Naringenina inhibe la proliferación a través de apoptosis de la expresión transcripcional de RE en las células de cáncer de colon SW480 expuestas a BPA” se relatan los resultados de la aplicación de bisfenol A y naringenina a cultivos de células de cáncer de colon sobre los mecanismos de proliferación celular, mismos que muestran que naringenina tiene un efecto anticancerígeno modulando la expresión transcripcional de los receptores estrogénicos β .

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Editora en Jefe



Índice

REVISTA DIGITAL CIENCIA @UAQRO
NÚMERO 1 VOLUMEN 14

Cartas al editor

ACTUALIZACIONES EN EL MANEJO DE HERIDAS.

UPDATES IN WOUND MANAGEMENT

Domínguez-Saavedra Gastón, Hernández- Galván Juan Miguel, Frigerio Pamela

16 - 28

“Y LAS PLANTAS... ¿SIENTEN?”

“AND THE PLANTS... DO THEY FEEL?”

García - Servín Miguel Ángel, Mendoza - Sánchez Magdalena, Contreras - Medina Luis Miguel

29 - 35

EL ARQUETIPO DEL FRACASO.

THE ARCHETYPE OF FAILURE

Zamora- Romero Violeta

36 - 42

Artículos de revisión

ACUAPONÍA: UNA ALTERNATIVA VERSÁTIL E INTEGRAL EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS PARA EL ENTORNO MEXICANO.

AQUAPONICS A VERSATILE AND INTEGRATED ALTERNATIVE IN FOOD PRODUCTION FOR THE MEXICAN ENVIRONMENT

Flores-Aguilar Priscila S., García-Trejo Juan Fernando, Sergio Iván Martínez-Guido

43 - 53

APROXIMACIÓN A UN MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO DEL CAMBIO TECNOLÓGICO.

APPROACH TO A THEORETICAL REFERENCE FRAMEWORK FOR TECHNOLOGICAL CHANGE

Escott-Mota María del Pilar , Palacios-Bustamante Rafael

54 - 62

CULTURA DE PAZ Y MEDIOS ALTERNOS DE SOLUCIÓN DE CONFLICTOS, LA IMPORTANCIA DE SU PRÁCTICA EN EL AULA UNIVERSITARIA. REVISIÓN.

CULTURE OF PEACE AND ALTER-NATIVE METHODS OF CONFLICT RESOLUTION, THE IMPORTANCE OF ITS PRACTICE IN THE UNIVERSITY CLASSROOM. REVIEW.

Cruz-Torres Margarita

63 - 70

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE CAFÉ: RUMBO A UNA ECONOMÍA CIRCULAR

REVALUATION OF COFFEE CROP WASTES: TOWARDS A CIRCULAR ECONOMY

Gutiérrez-Antonio Claudia, Rodríguez-Romero Luis Antonio, García-Trejo Juan Fernando, Feregrino-Pérez Ana Angélica

71 - 79

Artículos de investigación

EFFECTO TÉRMICO DEL BLANQUEADO CULINARIO EN EL PERFIL FENÓLICO DE OCHO DIFERENTES QUELITES PRESENTES EN LA DIETA TRADICIONAL MEXICANA.

THERMAL EFFECT OF CULINARY BLEACHING ON THE PHENOLIC PROFILE OF EIGHT DIFFERENT QUELITES PRESENT IN THE TRADITIONAL MEXICAN DIET

Kuri-García Aarón, Vargas-Madriz Ángel Félix, Mendoza-Juárez Anahí Wendolyne, Díaz-Díaz Beatriz Eugenia, Roldán-Padrón Octavio, Chávez-Servín Jorge Luis

80 - 94

LA PROPAGACIÓN DE LOS CICLOS ECONÓMICOS EN EL SECTOR AGROPECUARIO EN MÉXICO 1960-2015.

THE PROPAGATION OF BUSINESS CYCLES IN THE AGRICULTURAL SECTOR IN

MEXICO 1960-2015.

Valdés-Iglesias Edson

95 - 105

RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL Y EL DESEMPEÑO ORGANIZACIONAL EN LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN.

CRELATIONSHIP BETWEEN ORGANIZATIONAL STRUCTURE AND ORGANIZATIONAL PERFORMANCE IN PUBLIC RESEARCH CENTERS

Nava-Galván Claudia E., Pastrana- Palma Alberto, Morgan- Beltrán Josefina

106 - 117

NARINGENINA INHIBE PROLIFERACIÓN A TRAVÉS DE APOPTOSIS DEPENDIENTE DE LA EXPRESIÓN TRANSCRIPCIONAL DE RE EN CÉLULAS DE CÁNCER DE COLON SW480 EXPUESTAS A BPA

NARINGENIN INHIBITS PROLIFERATION THROUGH TRANSCRIPTIONAL RE EXPRESSION DEPENDENT APOPTOSIS IN SW480 COLON CANCER CELLS EXPOSED TO BPA

Lozano-Herrera SJ, Sánchez-Tusié AA, Hernández-Puga AG, Vergara-Castañeda HA.

118 - 127

Comité Editorial

Ciencias Físico Matemáticas

Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Facultad de Ingeniería UAQ
Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos
Facultad de Ingeniería UAQ
Dra. Teresa Guzmán Flores
Facultad de Informática UAQ
Dr. Enrique González Sosa
Facultad de Ingeniería UAQ

Ciencias de Psicología y Pedagogía

Dra. Evelyn Diez-Martínez
Facultad de Psicología UAQ
Dr. Martín Mora Martínez
Universidad de Guadalajara
Dra. Ma. del Carmen Colín Cabrera
Facultad de Psicología UAQ
Dra. Raquel Ribeiro Toral
Facultad de Psicología UAQ
Dra. Pamela Garbus
Facultad de Psicología UAQ

Ciencias Socio Políticas

Dr. Gabriel Muro González
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales UAQ
Dra. Sulima del Carmen García Falconi
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales UAQ
Dra. Ana Elisa Díaz Aldret
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales UAQ

Ciencias Químico Biológicas

Dra. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Facultad de Química
Dr. Fernando Chiang Cabrera
Instituto de Biología, UNAM
Dra. Mahinda Martínez y Díaz de Salas
Facultad de Ciencias Naturales UAQ
Dr. Juan Campos Guillén
Facultad de Ciencias Naturales UAQ
Dra. Rosalía Reynoso Camacho
Facultad de Química UAQ

Ciencias Jurídicas

Dr. Juan Ricardo Jiménez Gómez
Facultad de Derecho UAQ
Dr. Cesar García Ramírez
Facultad de Derecho UAQ
Dr. Gerardo Porfirio Hernández Aguilar
Facultad de Derecho UAQ

Ciencias de la Salud

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz
Coordinación de Investigación Científica de la UNAM
Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca
Facultad de Ciencias Naturales UAQ
Dr. Leonardo Viniestra Velásquez
Centro Médico Nacional Siglo XXI
Dra. María Peña Rangel
Instituto de Neurobiología, UNAM
Dr. Elhadi Yahia Kazuz
Facultad de Ciencias Naturales UAQ

Dra. Olga Patricia García Obregón
Facultad de Ciencias Naturales UAQ
Dra. Ma. Alejandra Hernández Castañón
Facultad de Enfermería
Dr. Enrique Villareal Ríos
Facultad de Enfermería
Dr. Rubén Salvador Romero Márquez
Director de Servicios de Salud en el Estado de Querétaro

Agropecuarias

Dr. Aurelio Guevara Escobar
Facultad de Ciencias Naturales UAQ
Dra. Tercia C. Reis de Souza
Facultad de Ciencias Naturales UAQ
Dra. Rosalía Ocampo Velázquez
Facultad de Ingeniería UAQ

Ciencias Económico Administrativas

Dra. Graciela Lara Gómez
Facultad de Contaduría y Administración UAQ
Dra. Alejandra Elizabeth Urbiola Solís
Facultad de Contaduría y Administración UAQ
Dr. Jesús Alberto Pastrana Palma
Facultad de Contaduría y Administración UAQ

Humanidades

Dra. Ángela Moyano Pahissa
Facultad de Filosofía UAQ
Dr. José Ignacio Urquiola Permisán
Facultad de Filosofía UAQ
Dra. Cecilia del Socorro Landa Fonseca
Facultad de Filosofía UAQ
Dra. Cecilia López Badano
Facultad de Lenguas y Letras
Dra. Beatriz Garza González
Facultad de Lenguas y Letras UAQ
Dra. Valeria Belloso
Facultad de Lenguas y Letras UAQ
Dra. María de los Ángeles Aguilar San Román
Facultad de Bellas Artes UAQ
Dr. Sergio Rivera Guerrero
Facultad de Bellas Artes UAQ

Directorio

Rectora
Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca
Secretaría académica
Dr. Aurelio Domínguez González
Secretaría de contraloría
M. en A.P. José Alejandro Ramírez Reséndiz
Secretaría administrativa
Mtro. Sergio Pacheco Hernández
Secretaría de Finanzas
M. en I. Alejandro Jáuregui Sánchez
Secretaría de extensión universitaria
Dra. Teresa García Besné
Secretaría particular de rectoría
Mtro. Luis Alberto Fernández García
Dirección de investigación y posgrado
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Consejo editorial

Editor en Jefe
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Coordinación editorial
Dra. María de la Luz Reyes Vega
MATI Maura Jarubi Chávez López
WebmaSter
Mtro. Carlos Aníbal Alonso Castilla
Lic. Ramsés Jabín Oviedo Pérez
Diseño editorial
Coordinación de diseño e impresión
Lic. Gerson A. Cornihs Mendoza

La revista CIENCIA@UAQRO es una revista semestral editada y publicada por la Universidad Autónoma de Querétaro, Dirección de investigación y Posgrado. C.U. Cerro de las Campanas S/N, Col. Las Campanas, C.P. 76010, Tel. (442) 192-13-12, http://www.uaq.mx/investigacion/revista_ciencia@uaq/, e-mail: ciencia@uaq.mx. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2014-062610323500-203, ISSN: 2395-8847, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número Dirección de Innovación de Tecnologías de la Información DITUAQ, M. en C. Jesús Martín Jaramillo Morales Flores, Centro Universitario Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas, C.P. 76010, Querétaro, Qro., fecha de la última modificación 15 de diciembre de 2017. El diseño de esta revista se financió con recursos de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial del contenido e imágenes de la publicación sin plena autorización de la Universidad Autónoma de Querétaro.

LATINDEX, sistema de Información sobre las revistas de investigación científica técnico-profesionales y de divulgación científica y cultural que se editan en los países de América Latina, El Caribe, España y Portugal, No. 24506.





NORMAS EDITORIALES

DIGITAL CIENCIA@UAQRO es una revista multidisciplinaria electrónica. El idioma de publicación es el español con temas originales que podrán ser agrupados en alguno de los dos bloques:

- a. Ciencias Naturales y Exactas
- b. Ciencias Sociales y Humanidades

Revisión entre pares

Se invita a la revisión de un artículo a tres investigadores cuyo trabajo se relacione con el tema del artículo. Los nombres de los autores no son revelados a los revisores y viceversa. Se envía la invitación acompañada del resumen del artículo (sin nombres ni instituciones de adscripción). Este proceso de evaluación anónimo protege a los autores y a los revisores de todo prejuicio. Una vez que los árbitros aceptan la invitación para ser revisores, se envía el manuscrito, anónimo para que sea examinado a fondo. Los revisores envían el dictamen y sugerencias posibles cambios o una recomendación firme sobre la conveniencia de publicar o no el artículo.

Sólo se recibirán los originales que cumplan con las normas editoriales señaladas, que sean originales e inéditas y que se estén postulando exclusivamente en este medio, y no en otro más, simultáneamente. El Editor acusará de recibidos los originales que serán enviados al Comité Editorial para su dictamen y en un plazo no mayor de tres meses comunicará a los interesados si el trabajo ha sido aceptado para su publicación.

INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

1. DIGITAL CIENCIA@UAQRO es una revista multidisciplinaria electrónica. El idioma de publicación es el español. En ella se publican artículos de investigación o de revisión, con temas originales, que podrán ser destinados a uno de los siguientes bloques:
 - a. Ciencias Naturales y Exactas
 - b. Ciencias Sociales y Humanidades
2. Sólo se recibirán artículos originales que cumplan con las normas editoriales señaladas.
3. Los artículos serán enviados al Comité Editorial para su dictamen y en un plazo no mayor de tres meses se comunicará a los interesados si el trabajo ha sido aceptado para su publicación.

Para consultas o ayuda escriba a: ciencia@uaq.mx

Guía para los autores

Antes de enviar un manuscrito a la Revista DIGITAL CIENCIA@UAQRO, verifique que su documento cumpla con los requisitos de la revista. Esto evitará correcciones de formato y agilizará el proceso de evaluación.

La revista publica artículos derivados de investigaciones concluidas o de reflexiones que traten sobre las temáticas convocadas, que no estén siendo sometidos en otras revistas y que sean inéditos.

El texto debe estar escrito en español, correctamente. El texto del manuscrito se divide en secciones numeradas; deben numerarse también las páginas y las líneas. El texto deberá escribirse a doble espacio. Se requiere un dictamen ético cuando la investigación a la que se refiere el artículo la haya requerido. Si el artículo incluye Tablas y/o Figuras, estas deben presentarse por separado, en formato jpg ó tif en 300 dpi. Todas las fuentes relevantes, tales como artículos, capítulos de libros, libros, páginas web, entre otros, deben incluirse en la lista de Referencias. Debe prepararse una Hoja Frontal en la cual se introduzca el artículo explicando la novedad de la investigación mediante “Aspectos Interesantes” que identifiquen los logros obtenidos en su trabajo y lo expliquen en pocas palabras. Deben presentarse de 3 a 5 frases, de 85 caracteres cada una.

Lista de verificación

Esta lista asegura al autor que su manuscrito cumple con los requerimientos, antes de su envío.

- Los autores deben asegurarse de la novedad del artículo y de que éste no haya sido publicado - ver “Responsible research publication: international standards for authors” en el siguiente enlace: http://publicationethics.org/files/International%20standards_authors_for%20website_11_Nov_2011_0.pdf Consentimiento ético, cuando este sea necesario.
- Extensión: No deben contener menos de 10 ni más de 20 páginas, incluyendo Tablas y Figuras.
- Página del título: Contiene el título del artículo, los nombres de los autores, sus afiliaciones, correos electrónicos y el teléfono del autor principal. Los nombres

- de los autores deben escribirse en el siguiente orden: Nombre Apellidos (los apellidos, separados por un guión), ejemplo: María Soledad CARREÓN-LÓPEZ – esto asegura que se enlisten correctamente en los servicios de indización.
- Primera página: “Aspectos Interesantes”: de 3 a 5 enunciados. De máximo 85 caracteres cada uno.
- Las páginas deben numerarse consecutivamente, excepto la Página del Título y la Hoja Frontal (que contiene los “Aspectos Interesantes”).
- También deben numerarse consecutivamente las líneas de las páginas numeradas. La numeración de las líneas debe ser consecutiva desde la primera hasta la última página.
- El manuscrito debe contener una declaración de ausencia de Conflicto de Intereses. Esta debe situarse antes de la Referencias.
- El manuscrito debe contener, si es necesario, la aprobación ética y el consentimiento informado.
- El manuscrito debe proporcionarse como un archivo Microsoft Word.
- Deben proponerse tres o más revisores (incluyendo afiliación y correo electrónico institucional), al menos dos de ellos deben ser de instituciones externas a la Universidad de adscripción del autor.

Tipos de artículos

1. Artículo de investigación: Es un artículo que relata una investigación completa que no ha sido publicada anteriormente. No debe exceder 7,500 palabras de Introducción a Conclusión (sin incluir referencias). Debe contener un máximo de 6 Tablas y Figuras, combinadas. No debe exceder de 40 referencias. Si fuera absolutamente necesario exceder de estos límites (tablas, figuras, referencias), por favor contacte al Coordinador de la Revista antes de enviarlo.
2. Artículo de revisión: Debe tratar sobre un tópico interesante. Normalmente se enfoca a la literatura publicada durante los cinco años previos. No debe exceder de 10,000 palabras, de Introducción a Conclusión (sin incluir referencias). Debe contener un máximo de 6 Tablas y Figuras, combinadas. No debe exceder de 120 referencias. Si fuera absolutamente necesario exceder de estos límites (tablas, figuras, referencias), por favor contacte al Coordinador de la Revista antes de enviarlo.

Preparación del manuscrito

GENERAL: Los manuscritos deben prepararse en Microsoft Word, a doble espacio, con márgenes de 2.5 cm (superior, inferior, lateral derecho e izquierdo), con fuente Arial 12 puntos. Los editores se reservan el derecho de ajustar el estilo para obtener uniformidad.

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO: Se debe seguir el siguiente orden: Título, Autores, Afiliaciones, Resumen, Palabras clave, Texto principal (Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Conclusión), Agradecimientos, Apéndice, Conflicto de intereses,

Referencias, Títulos de Figuras y Tablas. El autor que recibe la correspondencia debe identificarse con un asterisco y un pie de nota. Todos los otros pies de página se identificarán con números arábigos superíndices (ejemplo: texto¹, 1pie de página). El título del artículo no debe ser ambiguo y debe reflejar su contenido.

TÍTULO: Conciso e informativo. Los títulos se usan en sistemas de recuperación de información. Deben evitarse las abreviaturas y las fórmulas.

AUTORES Y AFILIACIONES: En la línea enseguida del título, anotar los nombres y apellidos completos de cada autor y confirmar que estén escritos correctamente. Asegúrese de escribir primero el nombre o nombres con minúsculas y en segundo término el apellido con mayúsculas; si son dos apellidos, sepárelos por un guión (Ejemplo: José Alberto MUÑOZ-BUENROSTRO) –esto asegurará que se enlisten correctamente en los servicios de indización. En la línea enseguida de los autores, escribir la afiliación de los autores (donde trabajan actualmente). Indicar la afiliación de cada autor mediante una letra minúscula superíndice inmediatamente al término del nombre del autor y al inicio de la afiliación correspondiente. Proporcionar la dirección postal completa de cada afiliación, incluyendo el nombre del país y la dirección electrónica de cada autor.

AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Indicar claramente quien es el autor que recibirá la correspondencia durante las etapas de evaluación y publicación del artículo, así como en etapas posteriores. Asegurarse de que la dirección electrónica se incluya y que los detalles del contacto se mantengan actualizados por el autor.

DIRECCIONES ACTUALES PERMANENTES: Si un autor cambia de afiliación o es un invitado en la afiliación proporcionada, debe indicarse como pie de página la “Dirección Permanente” del autor.

RESUMEN: Debe escribirse en español y en inglés. El orden de presentación es primero en español, seguido de las palabras clave y enseguida en inglés, seguido de las “keywords”. Debe ser conciso. Debe incluir brevemente el objetivo de la investigación, la metodología relevante, los principales resultados y conclusiones. Un resumen se presenta, a menudo, independientemente del artículo y por esta razón deben evitarse las referencias bibliográficas y las abreviaturas no estándares.

El resumen no debe exceder 200 palabras.

PALABRAS CLAVE: De 3 a 5 palabras que indiquen a qué se refiere el artículo. Éstas se usan en los servicios de indización para la localización de artículos.

ASPECTOS INTERESANTES (EN INGLÉS HIGHLIGHTS): Se incluyen de 3 a 5 frases, en español y en inglés, con un máximo de 85 caracteres cada una, para destacar las contribuciones importantes del artículo. No deben usarse abreviaturas y asegúrese

Información para los autores

■ Citas:

Las citas se enuncian en el texto iniciando con el apellido del autor (sin iniciales) y el año de publicación (ejemplo: “Sánchez, Martínez y Vega (2010) estudiaron los efectos...” ó “...valores semejantes a los reportados por otros [Camargo, González, Velázquez & Zapata, 2012]...”). Para 2-6 autores, todos los autores se enlistan como se indicó. Cuando se trata de más de 6 autores, se escribe el apellido del primer autor *et al.*

■ Referencias a publicaciones en revistas:

Van der Geer, J., Hanraads, J. A. J., & Lupton, R. A. (2010). The art of writing a scientific article. *Journal of Scientific Communications*, 163, 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

■ Referencia a una publicación en revista con un número de artículo:

Van der Geer, J., Hanraads, J. A. J., & Lupton, R. A. (2018). The art of writing a scientific article. *Heliyon*, 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

■ Referencia a un libro:

Strunk, W., Jr., & White, E. B. (2000). *The elements of style*. (4th ed.). New York: Longman, [Chapter 4].

■

Referencia a un capítulo en un libro editado:

Mettam, G. R., & Adams, L. B. (2009). How to prepare an electronic version of your article. In B. S. Jones, & R. Z. Smith (Eds.), *Introduction to the electronic age* (pp. 281-304). New York: E-Publishing Inc.

■ Referencia a un website:

Cancer Research UK. Cancer statistics reports for the UK. (2003). <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> Accessed 13 March 2003.

■ Referencia a una base de datos:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T. (2015). Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. *Mendeley Data*, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

■ Referencia a una conferencia o presentación de póster:

Engle, E.K., Cash, T.F., & Jarry, J.L. (2009, November). The Body Image Behaviours Inventory-3: Development and validation of the Body Image Compulsive Actions and Body Image Avoidance Scales. Poster session presentation at the meeting of the Association for Behavioural and Cognitive Therapies, New York, NY.

de que las frases puedan entenderse independientes del manuscrito.

SUBDIVISIÓN-SECCIONES NUMERADAS: Divida su artículo en secciones claramente definidas y numeradas (1, 2, 3, etc.). Las subsecciones también deben numerarse (1, 1.1, 1.1.1 y luego 1.2, 1.2.1, etc.). El resumen no debe incluirse en la numeración. Use esta denominación para referencias cruzadas en el texto. Cada sección y subsección debe tener un breve encabezado. Cada encabezado debe aparecer en una línea independiente.

HIPÓTESIS: Los artículos científicos se benefician con la inclusión de hipótesis. Estas deben ser claras, concisas y declarativas. Se deben describir una o varias hipótesis, las cuales se intentarán confirmar o refutar mediante el trabajo descrito en el manuscrito. La inclusión de la hipótesis facilita contrastar las hipótesis con las aseveraciones de literatura previa y señalar lo que el autor considera distintivo o novedoso en el manuscrito. La hipótesis debe incluirse en la Introducción y en Conclusión debe incluirse si la hipótesis fue confirmada o refutada.

FORMATO PARA AGRADECER FINANCIAMIENTO: Deben enlistarse las fuentes de financiamiento indicando los datos de las becas u otros organismos que apoyaron el desarrollo del trabajo. Si no se recibieron fondos para la investigación, debe incluirse la siguiente frase:

Esta investigación no recibió ningún subsidio de agencias públicas, comerciales o sectores no lucrativos.

UNIDADES: Deben seguirse las reglas aceptadas internacionalmente: use el sistema internacional de unidades (SI). Si se mencionan otras unidades, por favor dé su equivalencia en el SI. La temperatura debe indicarse en grados Celsius. La unidad “billón” es ambigua, no debe usarse.

ESTADÍSTICA: Debe aplicarse el análisis estadístico apropiado.

FIGURAS: Adjunte fotografías de 300 ppp e ilustraciones a 600 ppp en formato JPG, TIFF o PNG. En archivos independientes.

TABLAS: Evite tablas muy largas o muy cortas. La mitad de una página se recomienda como una buena medida. Los símbolos y abreviaciones tendrán que aparecer en el pie de nota.

CITAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: Confirme que cada referencia esté citada en el texto y viceversa.

Las referencias deben enlistarse por orden alfabético del apellido del primer autor y en segundo término en orden cronológico. Al citarlas en el texto, si hay más de una referencia del mismo primer autor y del mismo año, deben identificarse mediante las letras a, b, c, etc. colocadas después del año de publicación.



ACTUALIZACIONES EN EL MANEJO DE HERIDAS.

UPDATES IN WOUND MANAGEMENT

Domínguez-Saavedra Gastón ^{1*}, Hernández- Galván Juan Miguel ², Frigerio Pamela ³

¹ Residente de segundo año de cirugía general, Hospital Universitario de Saltillo, Saltillo, Coahuila de Zaragoza.

² Medico adscrito al servicio de cirugía general, Hospital Universitario de Saltillo, Saltillo, Coahuila de Zaragoza.

³ Estudiante Maestría Bioética y Ética de las Investigaciones CREEL. Residente de primer año de cirugía general, Hospital Universitario de Saltillo, Saltillo, Coahuila de Zaragoza

* Autor de correspondencia: : gaston_dot@hotmail.com

Resumen

Las heridas agudas complicadas y las heridas crónicas siempre han acompañado la práctica médica; lamentablemente, el cuidado que a ellas se les dedica no es el adecuado y muchas veces es empírico. Los altos costos en los servicios de salud y la pobre calidad de vida de los pacientes que las sufren, generaron en los últimos 20 años el desarrollo de tecnologías para el cierre rápido, óptimo y costo-efectivo de estas lesiones; apareció el concepto de ambiente húmedo, con el cual se desarrollaron apósitos o vendajes especializados. El desarrollo de esta tecnología de heridas ha crecido a pasos agigantados, pero en nuestro país aún existe resistencia a su uso, a pesar de la evidencia científica existente. Es importante que los cirujanos conozcan este arsenal terapéutico y enfoquen las heridas de manera holística y no como lesiones aisladas de pacientes crónicos. Además, las nuevas generaciones de cirujanos deben entrenarse en sus años de residencia en el uso de estos apósitos, como ya se hace en Norteamérica y Europa; inclusive, se debe considerar esta área como una subespecialidad del cuidado quirúrgico. Existen dos tipos de curaciones: la tradicional, que usa apósitos de baja tecnología (gasas), y la avanzada, que usa apósitos con sustancias activas que interactúan con el microambiente de la herida como, por ejemplo, hidrocoloides, alginatos o colágeno, entre otros. El objetivo de esta revisión es conocer todos los materiales con los que contamos, desde productos orgánicos hasta aparatos de la más alta tecnología para la curación de heridas y en que momento utilizarlos.

Palabras Clave: Heridas, Cicatrización, Cirugía.

Abstract

Complicated acute wounds and chronic wounds have always accompanied the medical practice; unfortunately, the care given to them is not adequate and is often empirical. The high costs in health services and the poor quality of life of the patients who suffer them, generated in the last 20 years the development of technologies for the rapid, optimal and cost-effective closure of these injuries; the concept of humid environment appeared, with which specialized dressings or bandages were developed. The development of this wound technology has grown by leaps and bounds, but in our country, there is still resistance to its use, despite the existing scientific evidence. It is important that surgeons be aware of this therapeutic arsenal and approach wounds holistically and not as isolated injuries from chronic patients. In addition, new generations of surgeons must train in their years of residency in the use of these dressings, as is already done in North America and Europe; even this area should be considered as a subspecialty of surgical care. There are two types of dressings: the traditional, which uses low-tech dressings (gauze), and the advanced, which uses dressings with active substances that interact with the microenvironment of the wound, such as hydrocolloids, alginates or collagen, among others. The objective of this review is to know all the materials we have, from organic products to the highest technology devices for wound healing and when to use them.

Key Words: Wound, Healing, Surgery.

1. Introducción

En la antigüedad, los médicos asociaban la curación de las heridas con la formación de pus, por lo que las cubrían con apósitos y emplastos para que se produjera está, pero no fue hasta que Ambrosio Paré, padre de la cirugía moderna, descubriera que el solo mantenimiento de la herida limpia y cubierta llevaba a una evolución más satisfactoria de la misma. Por lo que a partir de ese momento, se han buscado insumos y materiales para llevar a una buena evolución las heridas con las que hoy en día estamos en contacto todo el personal médico.¹ Contamos con gran cantidad de materiales para ayudar a la cicatrización de heridas de una forma óptima, sin embargo, aún con todos los avances e información, aun no estamos capacitados para saber cómo usarlos y cuando indicarlos.

La enfermedad siempre ha acompañado la historia de la humanidad y gran parte de esa historia está representada en el manejo de las heridas, ya sean agudas, como las heridas postraumáticas o postquirúrgicas, o crónicas, como las úlceras de los miembros inferiores.

El manejo de las heridas ha sido abandonado por los médicos y especialmente por los cirujanos y su cuidado ha quedado en manos de las enfermeras. Han representado siempre un reto para el médico y desesperanza para el paciente, ya que son patologías que muy difícilmente se curan si no se les da el tratamiento adecuado, representan altos costos para los servicios de salud y generan un detrimento muy importante en la calidad de vida de los pacientes.

Todos los cirujanos nos vemos enfrentados en algún momento a heridas de difícil manejo. La aplicación de terapias basadas en la experiencia propia o de terceros, sin estudios aleatorios o basados en la evidencia, ha perpetuado antiguas creencias y ha hecho de las curaciones algo poco científico, por lo que aburre y se delega a personal no capacitado.

El entendimiento adecuado de la fisiología del microambiente de una herida, desde el punto de vista molecular, infeccioso y genético, el manejo multidisciplinario y el conocimiento de la tecnología de heridas, nos permitirán tratar estas enfermedades con rigor científico y sentido crítico.

Actualmente, el desarrollo de la tecnología de apósitos, asociado a la valoración holística de los pacientes con

heridas, ha disminuido las complicaciones y los costos, y ha mejorado la tasa de curación de estas entidades.

Es muy importante, para las nuevas generaciones de médicos y cirujanos, conocer el arsenal diagnóstico y terapéutico para el manejo de heridas complejas, para optimizar la calidad de vida del paciente y ahorrar recursos, dejando atrás los conceptos folclóricos y carentes de evidencia científica.

En los Estados Unidos y Europa, el cuidado de las heridas es parte fundamental del entrenamiento de los residentes de cirugía y, desde hace ya varios años, se considera como una subespecialidad médico-quirúrgica, tanto para enfermeras como para cirujanos.

2. Antecedentes

El inicio de la medicina se da a la par de la aparición del hombre, por la necesidad de protegerse y curarse, por lo que encontró plantas y sustancias que aun el día de hoy, algunas de ellas seguimos utilizando. Se tiene registro desde el año 3000 a.C. de un manuscrito para la fabricación de medicamentos. En Egipto, utilizaban el aceite de ricino para curar heridas y zonas irritadas del cuerpo y usaban el pan fermentado también, porque observaron un efecto beneficioso sobre las heridas. El Papiro de Edwin Smith trata principalmente de las heridas, fracturas y luxaciones, aplicando compuestos de grasas animales, miel y tejidos con algodón y describe diferentes tipos de suturas de heridas.^{1,2}

Los hebreos tienen registrada la preparación de ungüentos para la curación de heridas. En la India, Susruta describió el uso de vendajes y apósitos con las indicaciones de uso para cada uno y fue el primer antecedente para la reconstrucción de orejas y nariz. Los pueblos precolombinos curaban las heridas con una mezcla de hierbas astringentes o sustancias obtenidas de huevos de diferentes aves y las cubrían con plumas o vendas hechas de piel. Los aztecas abrían los abscesos y flebomas con bisturís de obsidiana y colocaban tortillas de maíz afectadas con fungosis y suturaban las heridas con cabello. El pueblo inca utilizaba diversas sustancias, como la coca, el bálsamo de benjuí, los aceites de pepita y el sulfato cúprico, para curar sus heridas.

En la Grecia antigua, en la época hipocrática, la curación de heridas y úlceras se realizaba mediante la

limpieza de estas y la aplicación de sustancias minerales y/o vegetales acompañada siempre de vino y en las heridas purulentas aplicaban el drenaje de las mismas. Durante las cruzadas, el cirujano tuvo la oportunidad de observar el proceso de cicatrización. En ese tiempo, hubo médicos como Ugo de Lucca, su hijo Teodorico, Henri de Mondeville por mencionar algunos, que concluyeron que el mejor manejo para las heridas era mantenerlas limpias sin que fuera necesario la formación de pus, ya que esta era más una complicación que parte de la curación.² Guillermo de Saliceto, en el siglo XIII, en su Cirugía Magna, menciona que el manejo adecuado de las heridas es mantenerlas limpias y suturarlas lo más pronto posible. Podemos darnos cuenta que es, a partir de esta época, que empieza el manejo de las heridas manteniéndolas limpias, pero no es hasta el siglo XV cuando Paré descubre que las heridas tratadas con limpieza con esencia de rosas y cobertura pronta tenían un resultado más satisfactorio y con menos inflamación que las tratadas con aceite hirviendo.¹

Ya en el siglo XIX y XX, se da un salto en cuanto al conocimiento de microorganismos que son capaces de producir enfermedad y, por ende, contaminación de heridas. Es así como Semmelweis incorpora un sistema de asepsia que, si bien no fue totalmente aceptado por la comunidad médica, abrió la puerta para que se iniciara la aplicación de la asepsia en los hospitales. Lister también observó que para tener buenos resultados en el manejo de heridas tenían que mantenerlas libres de toda contaminación, así que aplicaba ácido carbólico sobre el paciente al momento de realizar cirugías, y esto lo comprobó al conocer los estudios de Pasteur. Estos tres personajes permitieron que se establecieran las bases de la asepsia y la antisepsia¹. A partir de una conferencia dictada por Lister, Robert Wood Johnson inicia una investigación para crear un apósito antiséptico en forma de gasa impregnada con yodoformo con el fin de lograr la antisepsia de la herida y favorecer su curación.^{3,4} En el año 1963, Winter et al., publican que al mantener las heridas en un ambiente húmedo curaban mejor que aquellas expuestas al aire, ya que la humedad impide la deshidratación y la desecación de la misma con una interfase entre la herida y el ambiente.^{3,5} Actualmente se llevan a cabo proyectos de investigación para entender el proceso molecular de la cicatrización y con ello dar el manejo más adecuado para la curación de heridas y evitar

sus complicaciones como la infección y la cronicidad, y para esto, contamos con una gran variedad de suturas, adhesivos, materiales de curación, etc.

3. Cicatrización

Después de un traumatismo en la piel se forma una herida y el proceso de curación se inicia de inmediato. En función del tipo de herida, la epidermis (la parte superior de la piel) y la dermis (la parte intermedia de la piel, con capilares sanguíneos) pueden quedar destruidas y tienen que ser restauradas mediante la reparación de la herida. Se trata de un proceso muy complejo que hoy día es todavía objeto de una investigación intensiva. El proceso de curación de las heridas es complejo e intervienen varios procesos celulares y moleculares que aún no se han entendido en su totalidad, pero para su estudio se han dividido en 3 fases principalmente.⁶ La respuesta inmediata a la lesión es la vasoconstricción, que es causada por las prostaglandinas y los tromboxanos; las plaquetas se adhieren al colágeno expuesto y se libera el contenido de estas en gránulos, mientras que el factor tisular activa a la cascada de coagulación y a las plaquetas. Esta matriz y el control de la coagulación ayudan a la cicatrización.⁷

3.1 Fases de la cicatrización:

3.1.1. Fase de Respuesta vascular y coagulación de la sangre.

3.1.2. Fase de Inflamación.

3.1.3. Fase de Proliferación.

3.1.4. Fase de Remodelación/Maduración

3.1.1. Respuesta vascular y coagulación de la sangre (Primeras 24 horas).

Inmediatamente después de la lesión, la sangre penetra en la herida desde los vasos sanguíneos dañados. La sangre retira, por arrastre, los cuerpos extraños, lo que contribuye a prevenir la infección (primer mecanismo de limpieza). Después de algunos segundos los vasos se contraen para reducir el sangrado. Células sanguíneas especiales denominadas plaquetas se adhieren unas a otras para formar un tapón. Este agregado detiene la hemorragia al taponar el vaso sanguíneo lesionado. Para coagulación produce fibrina, necesaria para la coagulación sanguínea.

3.1.2. Inflamación (24 a 48 horas).

Esta fase de la curación se caracteriza por la formación de exudado y el enrojecimiento de la piel circundante. Nada tiene que ver con la infección, sino que es causada por dos acontecimientos que aparecen principalmente durante la fase inflamatoria de la curación.

En primer lugar, los leucocitos (las llamadas células inflamatorias: primero neutrófilos y luego macrófagos) invaden el tejido lesionado y comienzan a limpiar la zona de desechos, tanto tejidos muertos y contaminantes como bacterias. En segundo lugar, las plaquetas y las células inflamatorias liberan mediadores, como los factores de crecimiento, para desencadenar el ulterior proceso de curación.^{7,8}

3.1.3. Fase de proliferación (4 a 14 días).

La epitelización ocurre temprano en la reparación de la herida, depende de la proliferación y migración de células epiteliales desde los bordes de la herida y de cualquier remanente de los anexos de la piel (folículos vellosos, glándulas sebáceas y sudoríparas). La estimulación se lleva a cabo mediante el factor de crecimiento epidérmico (EGF) y el factor de crecimiento transformante alfa (TGF- α)⁷.

La angiogénesis, estimulada por el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), está marcada por la migración de las células endoteliales y la formación de capilares, que es crítico para la apropiada curación de la herida⁷. La granulación es la parte final de esta fase, requiere nutrientes que son llevados por los capilares, en ella, los fibroblastos comienzan a migrar al sitio lesionado y comienzan a sintetizar colágeno desorganizado y a proliferar; las señales principales para los fibroblastos son el factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF) y el EGF.^{7,8}

3.1.4. Fase de remodelación/Maduración (día 8 hasta 1 año).

Esta fase se caracteriza por el depósito de colágeno en una bien organizada red. La colágena que se deposita al principio es más delgada y está orientada paralela a la piel (colágena tipo III), con el paso del tiempo esta se reabsorbe y se deposita una colágena más fuerte y organizada a lo largo de las líneas de stress⁷. La síntesis de colágena dura aproximadamente de 4 a 5 semanas, pero el volumen

aumenta a un año de la lesión.^{9,10}

Tras el cierre de la herida, el tejido recién formado no es idéntico al tejido original. En los casos en que sólo se afecta la epidermis no se forma cicatriz (regeneración). Si se lesiona la dermis se formará una cicatriz (reparación normal). Los trastornos de la curación de la herida pueden propiciar una formación cicatricial insuficiente o excesiva. El proceso de remodelado puede necesitar años.

Los aumentos de la temperatura y la presión son factores conocidos que aceleran el proceso de remodelado y que pueden utilizarse para reducir la cicatriz.

Para resumir las fases de la curación de una herida, cabe destacar que las células siguientes desempeñan un papel importante:

- **Las plaquetas, conjuntamente con la fibrina, detienen o cohiben la hemorragia.**
- **Los leucocitos (neutrófilos primero y macrófagos luego) limpian la herida.**
- **Los fibroblastos forman colágeno nuevo para reemplazar el tejido perdido.**
- **Los queratinocitos forman una nueva epidermis.**

4. Tipos de heridas

En una reunión de consenso realizada en 1994¹¹, se definieron conceptos y guías para que los investigadores y clínicos interesados en el tema tuvieran un lenguaje común.

Así, se definió herida como toda disrupción de estructuras anatómicas y funcionales normales; sin embargo, existen innumerables clasificaciones de las heridas, la mayoría de difícil aplicación clínica.

La separación más importante es determinar si la herida es aguda o crónica, con base en los conceptos de orden y temporalidad.

Una herida aguda es aquella que tiene un tiempo de evolución menor de 30 días y sigue un proceso de reparación ordenado, dentro de un tiempo adecuado, hasta restaurarse la integridad anatómica y funcional del tejido inicialmente lesionado; por ejemplo, heridas limpias luego de procedimientos quirúrgicos o abrasiones superficiales luego de traumas.

Por otro lado, las heridas crónicas son aquellas que no siguen un proceso de reparación normal, se estancan en alguna fase de la cicatrización, sin que se

restaure la integridad anatómica ni funcional del tejido lesionado; por ejemplo, úlceras venosas de los miembros inferiores o úlceras por presión.

En estas definiciones, el concepto de orden se refiere a la secuencia de eventos biológicos que ocurren en la reparación de una herida y el concepto de temporalidad se refiere al tiempo que demora el proceso.

5. Tipos de lechos de la herida

Presentamos en este artículo seis tipos de tejido en el lecho de las lesiones:

5.1. Granulación.

5.2. Biofilm fibrina naturalizada.

5.3. Biofilm bacteriano.

5.4. Necrosis.

5.5

5.5.1. Film de Fibrina desnaturalizada.

5.5.2. Húmeda o esfacelos.

5.5.3. Necrosis seca en placa.

5.5.4. Hematoma disecante.

5.6. Tejido graso.

5.7. Epitelio.

6. Preparación del lecho de la herida

Hay cuatro componentes para la preparación del lecho de la herida, que abordan las diferentes alteraciones fisiopatológicas subyacentes a las heridas. La European Wound Management Association (EWMA) describió una estrategia dinámica llamada TIME, que resume los 4 puntos clave para estimular el proceso de curación natural.^{12,13}

6.1. T (Tissue/ Tejido): control del tejido no viable.

6.2. I (Infection/ Infección): control de la infección.

6.3. M (Moisture/ Humedad): control del exudado.

6.4. E (Edge/borde): estimulación de los bordes epiteliales.

Más de 10 años después de la creación de este esquema, a pesar de los avances en las técnicas empleadas y la mayor evidencia disponible, esta estrategia sigue teniendo aplicabilidad. Sin embargo, una crítica que se podría realizar es que es un enfoque centrado en el

manejo óptimo del lecho de la herida, sin tener en cuenta otros factores como el impacto biopsicosocial de la lesión en nuestros pacientes. Por ello, la estrategia TIME ha de enmarcarse como parte del manejo integral del enfermo que incluya, además del tratamiento local de la herida, la implementación de planes para obtener los objetivos definidos, la monitorización de los productos utilizados y su tolerancia, la evaluación continuada mediante herramientas de medida de curación y de calidad de vida.^{14,15,16}

6.1. T (Tissue/ Tejido): control del tejido no viable.

Se debe retirar el tejido no vascularizado, ya que impide el proceso de curación, por lo que la desbridación proporciona un ambiente que estimula la acumulación de tejido sano y así una curación más pronta.

6.2. I (Infection/ Infección): control de la infección.

Las heridas son a menudo colonizadas con organismos bacterianos o fúngicos, en parte porque estas heridas permanecen abiertas durante períodos prolongados, pero también se relaciona con otros factores como la mala circulación de la sangre, la hipoxia y las enfermedades subyacentes. Una carga bacteriana por arriba de 10⁶ organismos o más, por gramo de tejido, afecta la cicatrización, por lo que es importante mantener libre a la herida de contaminación bacteriana.

6.3. M (Moisture/ Humedad): control del exudado.

Se ha comprobado que el mantener húmedas a las heridas acelera el proceso de epitelización y esto ha llevado al desarrollo de un amplia gama de apósitos que conservan la humedad y promueven la curación de las heridas. Se ha visto que el exudado de las heridas crónicas y agudas tiene diferentes propiedades, por ejemplo, en las heridas agudas el exudado estimula la proliferación de fibroblastos, queratinocitos y células endoteliales, por el contrario, en las heridas crónicas el exudado bloquea la proliferación celular y la angiogénesis y contiene metaloproteinasas que rompe la matriz extracelular.

6.4. E (Edge/borde): estimulación de los bordes epiteliales.

La curación efectiva de las heridas requiere del reestablecimiento de un epitelio intacto y de las funciones de la piel. Este proceso de epitelización se puede ver

afectado cuando hay fallas en la matriz celular o hay isquemia por lo que se llega a inhibir la migración de queratinocitos o su adhesión.

7. Curación Convencional.

Es aquella que se nos enseñó en las facultades de medicina, la cual usa materiales de baja absorción y alta capacidad de desecación, representados por gasa y algodón, en forma de compresas, apósitos o torundas.

Estos materiales son pasivos, en el sentido de que no intervienen en el proceso de cicatrización y, peor aún, lo lentifican y complican. Varios estudios aleatorios han demostrado que estos materiales disminuyen la cicatrización, aumentan los costos, aumentan la incidencia de infección y generan más dolor.¹⁷

En este método, las curaciones se caracterizan por ser de frecuencia diaria, dolorosas, ya que en cada evento de curación se remueve tejido sano de manera cruenta con sangrado y dolor, son más costosas, porque implican gastos para el proveedor de salud y para el paciente en cada consulta para la curación, y alargan el periodo de cicatrización, haciéndolo más susceptible a complicaciones locales o sistémicas.

Lamentablemente, se caracterizan por un alto nivel de empirismo por parte de las personas que lo realizan, sumado a conceptos de cultura popular y folclor que van en detrimento de la atención profesional, como el uso de plantas, azúcares tipo panela, soluciones antisépticas como el peróxido de hidrógeno, soluciones yodadas o con cloro, que se ha demostrado que lentifican y complican el proceso de cicatrización, tanto en heridas agudas como crónicas.¹⁸

8. Curación Avanzada

La curación avanzada se basa en el principio del ambiente húmedo, utilizando apósitos de alta tecnología que favorecen la cicatrización al estimular el microambiente de la herida.

Son curaciones realizadas con una periodicidad de 4 a 6 días, según el tipo de herida, sin dolor y costo-efectivos; favorecen el cierre rápido y óptimo de todo tipo de heridas.^{18,19,20}

9. Apósitos

Son el conjunto de materiales de que disponemos para favorecer el proceso de cicatrización. Existen diferentes tipos y clasificaciones pero, básicamente, se diferencian según su localización y modo de acción (Tabla 1).

Según su localización, los apósitos se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que están en contacto directo con la herida y los secundarios, los que protegen al apósito primario o tienen funciones de absorción. Las últimas innovaciones son los apósitos hidroactivos de poliuretano.

Según su modo de acción, los apósitos se clasifican en pasivos y activos.

10. Productos pasivos

Son aquellos que no interactúan con la herida, tienen alta capacidad de desecación y poca absorción, y además, favorecen la infección. Son los usados en la curación convencional. El más representativo es la gasa tejida o prensada, material de origen natural que destruye el tejido de granulación.¹⁸

11. Productos activos

Son los utilizados en la curación avanzada y son activos porque interactúan con la herida favoreciendo su proceso de cicatrización.

Las características de estos apósitos, son:

- Proporcionan un ambiente húmedo,
- Son estériles,
- Tienen capacidad de absorción,
- Brindan protección contra la infección,
- No son adherentes,
- No son tóxicos ni alergénicos,
- No dejan residuos en la herida,
- Se adaptan a los contornos anatómicos,
- Son resistentes,
- Son costo-efectivos,
- Son fáciles de usar
- Disminuyen el dolor y el olor (Tabla 1).

Apósitos	Características	Exudados	Indicaciones	Ventajas	Desventajas	Ejemplos
Alginatos	Se produce a partir de algas pardas. Forma un gel cuando el calcio contenido en el áposito se intercambia por sodio en la herida. Absorbe 20 veces su peso ⁹ . Ideal para rellenar espacios muertos.	Abundante	En heridas superficiales y profundas. Heridas Infeccionadas. Desbridamiento Autolítico.	Absorbe exudado de las heridas. Permite el intercambio de gas, mientras la protege de la contaminación.	Requiere de un apósito transparente. Puede deshidratar las heridas con exudado mínimo. Causa dolor al removerlo. Contraindicado en quemaduras de tercer grado. Debe cambiarse diario ⁹ .	Algisite® Aquacel® Silvercell®
Esponjas	Polimero de Poliuretano Hidrofilico. Proporciona Aislamiento Térmico. Permite intercambio gaseoso.	Moderado	En heridas superficiales y profundas. Desbridamiento autolítico. Heridas infectadas. Protección y relleno.	No adherente. Se puede cambiar diario y hasta 7 días. Adecuada dispersión del exudado.	No recomendado en heridas cavitadas. Puede deshidratar heridas con exudado mínimo. No recomendado en heridas secas o escaras.	Allevyn® Tielle®
Hidrocoloides	Combinación de materiales como gelatinas, pectinas, elastómeros, y poliacarbometilcelulosa. Altamente oclusivos. Superficie Adherente. Impermeable a las bacterias. Absorción de la humedad de forma paulatina. Diversos tamaños y formas.	Mínimo	Heridas superficiales y profundas. Heridas que requieren humedad y tejido de granulación. Desbridamiento autolítico.	Reducción del dolor. Altamente oclusivos. Se acopla a la herida. Recambio hasta 7 días. Barrera contra bacterias y contaminantes.	Pueden dejar residuos en la superficie de la herida. No recomendado en heridas infectadas, exudado abundante, o herida con trayectos fistulosos. Puede promover infección por anaerobios. Puede promover exceso de granulación. El olor se confunde con infección.	DuoDerm® Tegasorb®

Hidrogeles	Polímero en gel u hojas a base de glicerina o agua. Semipermeable. Absorbe microorganismos, exudado o tejido necrótico. Estimula la cicatrización.	Mínimo a escaso.	Desbridamiento autolítico. Heridas superficiales o profundas con exudado mínimo.	Provee alivio en quemaduras o escoriaciones. Puede usarse si hay infección presente. Recambio hasta 7 días.	Absorción mínima. Si no se usa una película transparente, se seca rápidamente. Puede causar maceración.	Aquasite® Intrasite®
Cobertura semipermeable transparente	Película delgada de poliuretano. Semipermeable, permite intercambio de gas. Impermeable a líquidos y bacterias. Puede permanecer sobre la herida hasta 14 días.	Escaso	Heridas superficiales. Protección de sitios intravenosos. Cobertura Secundaria.	Barrera contra contaminantes y bacterias. Flexible.	No es absorbente. Puede acumularse el exudado permitiendo la maceración. Requiere bordes intactos de piel.	OpSite® Tegaderm®
Antimicrobianos	Crean una barrera antimicrobiana. La mayoría tiene amplio espectro bacteriano.	Abundante a Escaso	Heridas colonizadas o infectadas. Heridas agudas o crónicas.	Puede usarse con otros apósitos. En heridas secas o húmedas.	Necesita cobertura transparente. Los que contienen plata, manchan la piel. No se recomiendan totalmente	Acticoat® Silvercel® Silverion®

12. Técnicas Avanzadas en Cuidados de Heridas

Constituyen todas aquellas tecnologías, diferentes a apósitos especializados, para el cierre de heridas agudas o crónicas de difícil manejo. Entre estas tecnologías tenemos las siguientes:

13. Sistema de presión negativa o VAC®

A principios de los 90's Argenta y Morykwas introdujeron la terapia de presión negativa con la primera publicación en 1997, está ha sido la mayor innovación en el manejo de heridas. El dispositivo consiste en un adhesivo con un tubo conectado a un recipiente de recolección y una fuente de vacío.

Se basa en el uso de presión negativa o subatmosférica para el manejo de heridas complejas, que estimula la aparición del tejido de granulación y controla el exudado. La presión negativa sobre las heridas genera aumento de mitosis y angiogénesis, lo que permite la contracción de la herida y la aparición rápida de tejido de granulación.

El material de interfaz es una esponja de poliuretano de poro abierto, hidrófobo que tiene que sellar adecuadamente para mantener el vacío o el aire se fuga causando desecación, otros materiales que se utilizan son esponjas con alcohol polivinílico, o gasas. Estos, deben actuar como una interfaz para distribuir el vacío a lo largo de la herida y permitir que se eliminen los fluidos. La presión negativa que se aplica puede ser constante o intermitente, se recomienda una presión de 125 mmHg,

pero puede aumentarse hasta 175 mmHg. Requiere de cambios cada 48 a 72 horas.

Las indicaciones son pie diabético, úlceras por presión, abdomen abierto, fístulas intestinales entero-cutáneas y heridas postraumáticas, entre otras. Se contraindica en pacientes con heridas con necrosis y alto grado de contaminación, heridas de origen tumoral; el uso de VAC sobre estructuras vasculares es una contraindicación relativa.^{22,23}

14. Terapia de oxígeno hiperbárico

Se basa en el suministro de oxígeno al 100% dentro de una cámara presurizada, con el fin de aumentar el aporte de oxígeno a los tejidos por vía respiratoria, no por vía tópica. La terapia de oxígeno hiperbárico estimula la cicatrización a través de vías fisiológicas y farmacológicas, que incluyen la completa saturación de la hemoglobina, el aumento de la difusión de oxígeno de los glóbulos rojos a los tejidos, la estimulación de la angiogénesis, el efecto bacteriostático y bactericida al estimularse los procesos oxidativos de destrucción bacteriana, la disminución del edema, la estimulación de la síntesis de óxido nítrico y la disminución en la producción de radicales libres, por lo que es útil en síndromes de reperfusión²⁴.

Se indica en pie diabético infectado, osteomielitis crónica refractaria, infecciones necrosantes de tejidos blandos, síndromes de reperfusión, heridas secundarias a radioterapia y osteonecrosis por radioterapia.

Es muy importante recalcar que el uso de esta terapia se basa en un adecuado aporte de oxígeno a los tejidos, garantizado por buena perfusión distal, dada por conductos arteriales abiertos, por lo cual los pacientes deben tener un examen vascular normal para someterse a la terapia de oxígeno hiperbárico.²⁶

15. Sistema de Hidrobisturí/Hidrocirugía (Versajet®).

Es un sistema de limpieza y desbridamiento quirúrgico que se enmarca dentro de la "hidrocirugía". La hidrocirugía consiste en la utilización de chorros de agua a alta velocidad en herramientas quirúrgicas eléctricas. Este sistema produce un chorro de fluido a alta velocidad que crea una corriente de vacío en el extremo de la pieza

mano que aspira los tejidos blandos y que se adapta a todo tipo de heridas.

El sistema **Versajet®**, consta de una consola de energía reutilizable con pedal de activación, una pieza de mano desechable (15º/14 mm, 45º/14mm, 45º/8mm), un tubo de montaje en conjunto con solución salina estéril y un recipiente con nivel de residuos, para aprovechar al máximo su eficacia.

El sistema de hidrocirugía de VERSAJET® permite a los cirujanos sujetar, cortar y extirpar el tejido dañado y cualquier partícula extraña de forma muy precisa evitando los traumas asociados y pérdidas de tejido viable, necesario para la regeneración, a las otras modalidades quirúrgicas. Se puede desbridar en un solo paso y con un solo instrumento.²⁵

16. Biondesbridamiento

Entre los diferentes tipos de técnicas para el retiro de material necrótico de las heridas, el quirúrgico es el más importante. No obstante, algunas veces no se puede realizar por lo que se deben usar otras técnicas. Una de las más antiguas pero poco usadas es el llamado biondesbridamiento, que utiliza larvas cultivadas, estériles, de la especie *Lucilia sericata*. En su proceso de crecimiento antes de convertirse en moscas, las larvas están ávidas de nutrientes y, curiosamente, consumen grandes cantidades de tejido necrótico respetando el tejido sano y estimulando la aparición de tejido de granulación. Inclusive, tienen capacidad bactericida y bacteriostática por las secreciones propias de la larva o consumo de bacterias de la herida. Esta técnica de desbridamiento está plenamente avalada por la literatura y tiene sus indicaciones muy precisas. Debe ser utilizada por personal entrenado y con conocimiento del ciclo de vida de la larvas.^{26,27}

17. Sustitutos dérmicos

Los sustitutos de piel son un grupo de materiales con los cuales se cubren heridas dérmicas para suplir las funciones de la piel, pueden adquirirse de otros humanos, animales o producirse en el laboratorio. Han alcanzado un gran desarrollo y en la actualidad se cuenta con más de ocho de estos prototipos disponibles en el mercado.²⁸

Se clasifican en dos tipos: biológicos o sintéticos con dos subdivisiones, temporales o permanentes.²⁹

18. Biológicos temporales

Membrana amniótica. Se utiliza en quemaduras de espesor parcial, por su bajo costo se utiliza en países donde el acceso a otros sustitutos es limitado. Tiene como desventaja el riesgo de transmisión de enfermedades.

Oasis® (Smith&Nephew, Inc. Smith&Nephew Wound Management. U.K.). La producción de este xenoinjerto es a base de submucosa de intestino delgado porcino. Su desventaja es que pueden provocar incompatibilidad genética e inmunológica. No debe ser aplicado cuando hay exudado excesivo, sangrado o si hay infección.

Aloinjertos cadavéricos. Se utilizan como injertos de espesor grueso y es un método temporal para el cierre de heridas optimizando el sistema inmunológico del paciente, proporcionando factores de crecimiento y citocinas para provocar quimiotaxis y proliferación celular, sin embargo, las células de Langerhans siguen activas, lo que puede provocar el rechazo de este aloinjerto.³⁰

19. Biológicos permanentes

Apligraf® (Organogenesis Inc. Living Technology. New Jersey, USA). Compuesto de fibroblastos neonatales y queratinocitos que son colocados en una matriz de colágeno bovino tipo I, con el tiempo el componente dérmico se cubre de queratinocitos neonatales que crecen en una capa y posteriormente se estratifican.³¹ Se recomienda su uso en úlceras venosas crónicas, se contraindica en alergias al componente bovino y en heridas infectadas.³³

Matriderm® (MedSkin Solutions Dr. Suwelack AG. Billerbeck, Germany). Matriz extracelular de colágeno bovino con elastina; es utilizado para el tratamiento de heridas profundas de la dermis, mientras el tejido va creciendo, está matriz se reabsorbe y desaparece.³³

Alloderm® (LifeCell Corporation. Bridgewater, NJ, USA). Se fabrica mediante el procesamiento de piel cadavérica, esto da lugar a una dermis libre de células responsables de la respuesta antigénica en los aloinjertos, reduciéndola a una membrana basal y una matriz dérmica de colágena donde la nueva piel humana se puede regenerar²⁹. Es

inmunológicamente inerte, pero tiene como desventajas que tiene bajo riesgo de transmitir enfermedades y esta contraindicado en heridas infectadas o no vascularizadas.³²

Epifast® (Bioskinco S.A. de C.V. Estado de México, México). Es el primer equivalente de piel viva, desarrollado a partir del cultivo de células epidérmicas humanas que se colocan sobre una capa de gasa vaselinada, que reducen el tiempo de epitelización hasta en 50% de las lesiones causadas por quemaduras, úlceras, dermoabrasiones, áreas donadoras y otras afecciones cutáneas, disminuye el tiempo de recuperación del paciente, disminuye la fibrosis y el dolor, protege contra infecciones.

20. Sintéticos temporales

Se forman de moléculas no biológicas o polímeros no presentes en la piel normal, con la finalidad de permitir el cubrimiento por células epiteliales, así como el crecimiento de fibroblastos y vasos sanguíneos. Su ventaja es que evitan que se active la respuesta inmune.

TransCyte® (Smith&Nephew, Inc. Smith&Nephew Wound Management. U.K.). Consiste en una membrana polimérica y células neonatales de fibroblastos cultivadas bajo condiciones asépticas in vitro en una malla de nylon que es cubierta con colágena dérmica de porcino y unida a una membrana de silicón y así esta membrana brinda una epidermis sintética al momento de aplicarse. Tiene la ventaja que es transparente, permitiendo un monitoreo directo al lecho de la herida.³⁰

Biobrane® (Smith&Nephew, Inc. Smith&Nephew Wound Management. U.K.). Esta compuesto de un tejido de nylon resistente unido mecánicamente a una capa ultradelgada de goma de silicón, ambas capas poseen péptidos de colágena derivados de piel de cerdo. Permite su aplicación a heridas irregulares y es transparente. No debe permanecer mas de dos semanas porque existe la posibilidad de que los fibroblastos se entrelacen con la malla.³³

21. Sintéticos permanentes

Integra® (Integra LifeSciences Holdings Co. Plainsboro, NJ, USA). Consiste en colágena bovina, condroitin-6-fosfato y una membrana de silicona. Se utiliza en heridas o defectos parcialmente profundos. La dermis del paciente

se integra con el colágeno bovino y se va formando nueva piel, y cuando es satisfactoria la regeneración, se retira la capa de silicón.³⁶

Dermagraft® (Organogenesis Inc. Living Technology. La Jolla, CA, USA). Es derivado del cultivo de fibroblastos humanos neonatales. Es una matriz sintética la cual permanece sobre una malla bioabsorbible, después de que la malla se reabsorbe (un mes), se coloca un autoinjerto para la recuperación completa.³⁰ Está indicado en úlceras diabéticas, quemaduras, en reconstrucción mamaria, en reconstrucciones de membrana timpánica y de septum nasal.³² No debe usarse en heridas infectadas, con trayectos fistulosos o con hipersensibilidad al producto.³²

22. Terapias mas actuales

22.1. Factores de crecimiento

Las heridas crónicas se caracterizan por disminución en la concentración y producción de factores de crecimiento, debida a la inhibición inflamatoria de las células que se encuentran en el lecho de las heridas.

En 1962, Cohen publicó que la purificación de extractos de la glándula submaxilar daba lugar a la separación temprana de los párpados y a la erupción de los incisivos en ratones, lo que eventualmente condujo al aislamiento del primer factor de crecimiento, el factor de crecimiento epidérmico.³⁷

Los estudios han demostrado que uno de los factores de crecimiento más importantes es el factor de crecimiento derivado de las plaquetas (platelet derived growth factor, PDGF). Esta sustancia se ha podido producir por técnica de recombinación genética y se utiliza como estimulante de la cicatrización. Está especialmente indicada en pacientes con úlceras de origen neuropático diabético y es el único factor de crecimiento aprobado por la Food and Drug Administration (FDA), cuya efectividad se ha comprobado con estudios aleatorios. Se conoce como **Regranex®** (becaplermin 0,01% gel-Ortho McNeil diagnóstico y tratamiento Pharmaceutical, Johnson & Johnson).³⁸

22.2. Terapia con células madre

Las células madre son células que pueden diferenciarse en muchos tipos celulares y pueden ser útiles para la curación de heridas. Las células madre derivadas de

adipocitos son cultivadas a partir de tejido extraído por liposucción y se ha estudiado su uso en heridas crónicas, demostrando que pueden acelerar el cierre de estas.³⁹ Estas células se diferencian en células epiteliales y endoteliales y secretan citoquinas angiogénicas, ayudando a la neovascularización, así como se ha demostrado que promueven la proliferación de fibroblastos por contacto y por activación paracrina.^{39, 40}

Las células madre derivadas de la médula ósea promueven la cicatrización aumentando la población de fibroblastos y la producción de colágena en heridas crónicas que no han mejorado con las terapias convencionales.^{41,42}

Se ha demostrado por inmunohistoquímica que las células madre derivadas del cordón umbilical se diferencian en queratinocitos en el tejido con heridas.^{42,43} Se han hecho estudios en donde se demuestra que el uso de fibroblastos derivados de estas células en heridas experimentan una epitelización mas rápida, organizada y mas delgada.⁴⁴

22.3. Terapia génica

Se ha estudiado la inserción de genes en la piel, ya sea de forma tópica o inyectada en la forma de vectores (estos se encargan de insertar DNA en los genes humanos) virales y no virales, la forma no viral tiende a ser menos costosa y con menor riesgo de infección. En diversos estudios se ha comprobado que esta terapia promueve la granulación, vascularización y la epitelización y mejora la calidad de la cicatriz. Por esto, en el 2009, Margolis et al. realizaron un experimento en donde se inyectó un gen de adenovirus en úlceras crónicas, demostrando que su aplicación era segura y factible, teniendo como resultado tejido de granulación y la curación de la herida de difícil manejo. Sin embargo, se deben de continuar estos experimentos para asegurar que esta terapia es segura y factible para la curación de heridas tanto agudas como crónicas de difícil manejo.⁴²

Conclusiones

Desde tiempos remotos el hombre ha buscado la mejor manera de manejar las heridas, con el único objetivo de formar tejido viable para el cierre adecuado de éstas y con la complejidad que caracteriza el proceso de curación

de heridas es claro que no solo un agente o modalidad de tratamiento puede servir para todas las heridas, por lo que cada herida debe ser evaluada para optimizar su curación.

En la actualidad, la manera indicada de manejar las heridas crónicas es por medio de la curación avanzada y se considera una mala práctica la utilización de productos pasivos para el manejo de heridas crónicas y, aún más, sin la implementación de protocolos serios de diagnóstico y tratamiento.

La curación avanzada no es una moda en el actuar de los cirujanos, sino una forma de tratamiento avalada por evidencia seria. La curación avanzada, al ser más espaciada y con apósitos de alta tecnología y más fáciles de aplicar, ha demostrado ser más cómoda tanto para el paciente como para el prestador de salud. Además, múltiples estudios han hecho evidente el mayor costo-efectividad que tiene la curación avanzada sobre la curación tradicional y su capacidad notable de ahorro.

Se han estado investigando otras modalidades que estimulen la creación de tejido de granulación, que incluyen la utilización de factores de crecimiento, células madre y más recientemente, la terapia génica que parece prometedora; sin embargo, se necesitan más estudios para confirmar su efectividad.

Agradecimientos

Agradecemos al Hospital Universitario de Saltillo por ser la sede de nuestra residencia. A nuestros maestros, a nuestros pacientes.

Referencias bibliográficas

- Lyons AS, Petrucelli R.J. Historia de la medicina. Primera edición. España. Ed. , 1981 (Doyma).
- Barquin, M..Historia de la medicina. 8ª edición..México: Ed. , 2001 (Mendez Editores).
- Ramírez AR, Dagnino UB. Curación de heridas. Antiguos conceptos para aplicar y entender su manejo avanzado. Cuad. Cir. 20 (2006), pp. 92-99.
- Brunicardi FC, Andersen DK, Billiar TR, Dunn DL, Hunter JG, Pollock RE. Schwartz. Principios de cirugía. Tomo I. 10ª edición. México: Ed. , 2015. (McGraw-Hill Interamericana).
- Winter G, Scales J. Effect of air drying and dressings on the surface of a wound., 197 (Nature 1963), pp. 36-48.
- Furie B, Furie BC. Mechanisms of thrombus formation. N Engl J Med. , 359 (2008), pp. 938-949. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMra0801082>.
- Broughton G, Janis JE, Attinger CE..Wound healing: An overview. Plast Reconstr Surg. , 117 (2006 supplement), pp. 1e-S-32e-S. <http://dx.doi.org/10.1097/01.prs.0000222562.60260.f9>.
- Broughton G, Janis JE, Attinger CE. Wound healing: An overview. Plast Reconstr Surg. , 117 (2006 supplement), pp.1e-S-32e-S. <http://dx.doi.org/10.1097/01.prs.0000222562.60260.f9>.
- Janis JE, Kwon RK, Lalonde DH. A practical guide to wound healing., 125 (Plast Reconstr Surg 2010), pp. 230e-244e.
- Diegelmann RF. Analysis of collagen synthesis. Methods Mol Med., 78 (2003), pp. 349-358 <http://dx.doi.org/10.1385/1-59259-332-1:349>.
- Lazaurus GS. Definitions and guidelines for assessment of wounds and evaluation of healing. Wounds 1994;130:489.
- World Union of Wound Healing Societies (WUWHS). Diagnóstico y heridas. Documento de consenso [online]. Londres: MEP Ltd; 2008.
- Mosquera-Fernández A, Giralte de Veciana E, González de la Torre H, Lluch Fruns J, Perdomo Pérez E, Vale Carrodeguas M. Aplicación del concepto “preparación del lecho de la herida” en el abordaje local de las lesiones crónicas. El Peu [online]. 2010; 30(3):120-8 .
- European Wound Management Association (EWMA). Position Document: Wound Bed Preparation in Practice. London: MEP Ltd, 2004.
- Tizón-Bouza E, Pazos-Platas S, Álvarez-Díaz M, Marcos Espino MP, Quintela-Varela ME. Cura en ambiente húmedo en úlceras crónicas a través del concepto TIME. Recomendaciones basadas en la evidencia. Enferm Dermatol [online]. 2013; 7(20): 31-42.
- Palomar Llatas F, Fornes Pujalte B, Tornero Pla A, Muñoz. Escala A. Valoración Fedpalla de la piel perilesional. Enferm Dermatol. 2007; 1(0):36-8.
- Rivington LG. Hanging wet-to-dry dressings out to dry, advanced in skin and wound care. Adv Wound Care. 2002;15:279-84.
- Krasner D, Sibbald G. Chronic wound care. Third edition. San Diego: Appleton and Lange; 2002;12:120-40.
- Andrade P, Sepúlveda S, González J. Curación avanzada de heridas. Revista Chilena de Cirugía. 2004;56:396-403.

20. Trent J, Falabella A, Eaglestein W, Kirsner R. Venous ulcers: pathophysiology and treatment options. *Ostomy Wound Manage.* 2005;51:(suppl. 2a), 45-50.
21. Vranck M, Slama N, Preuss S. Wet wound healing. *Plast Reconstruct Surg.* 2002;110:1680.
22. Jiménez CE. Terapia de presión negativa, experiencia clínica con 87 casos y revisión de la literatura. *Rev Colomb Cir.* 2007;43:23-7.
23. La Van FB, Hunt Tk. Oxygen and wound healing. *Clin Plast Surg.* 1990;17:463-72.
24. Feldemeier JJ. Hyperbaric oxygen 2003: indications and results. Hyperbaric Oxygen Therapy Committee report. Kensington, MD; Undersea and Hyperbaric Medical Society, 2003.
25. Gs19p Versajet: a novel approach to debridement. *ANZ J Surg* 2007;77(suppl 1): A30. <http://wound.smith-nephew.com/au/node.asp?nodeId=3993>.
26. Sherman RA, WYLE F, VULPE M. Maggot therapy for treating pressure ulcers in spinal cord injury patients. *J Spinal Cord Med.* 1995;18:71-4.
27. Sherman RA. A new dressing design for use with maggot therapy. *Plast Reconstr Surg.* 1997;100:451-6.
28. Mirastschijsk U, Bugdahl R, Rollman O, Johansson BR, Ågran MS. Epithelial regeneration from bioengineered skin explants in culture. *Br J Dermatol.* 154 (2006), pp. 42-49 <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2133.2005.06997.x>.
29. Alvarez LJA, Flores OM, Hernandez GR, Martinez MH, Escamilla OC, Rivera SG. Una segunda piel: tratamiento con sustitutos dermicos., 4 (*Rev Med* 2012), pp. 37-41.
30. Zaulyanov L, Kirsner RS. A review of a bi-layered living cell treatment (Apligraf®) in the treatment of venous leg ulcers and diabetic foot ulcers. *Clin Interv Aging.* 2 (2007), pp. 93-98.
31. Fan, K, Tang J, Escandon J, Kirsner RS. State of art in topical wound-healing products., 127 (*Plast Reconst Surg* 2011), pp. 44S-59S.
32. Atherton DD, Tang R, Jones I, Jawad M. Early excision and application of matriderm with simultaneous autologous skin grafting in facial burns. *Plast Reconst Surg.* 125 (2010), pp. 60e-61e. <http://dx.doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181c725e5>.
33. Robson, MC, Phillips TJ, Falanga V, Odenheimer DJ, Parish LC, Jensen JL, et al. Randomized trial of topically applied repifermin (recombinant human keratinocyte growth factor-2) to accelerate wound healing in venous ulcers., 9 (*Wound Repair Regen* 2001), pp. 347-352.
35. Fette A. Integra artificial skin in use for full-thickness burn surgery: benefits or harms on patient outcome. *Technol Health Care.* 13 (2005), pp. 463-468.
36. Nie C, Yang D, Xu J, Si Z, Jin X, Zhang J. Locally administered adipose-derived stem cells accelerate wound healing through differentiation and vasculogenesis., 20 (*Cell Transplant* 2011), pp. 205-216.
37. Steed DL. Clinical evaluation of recombinant human platelet derived growth factor for the treatment of lower extremity diabetic ulcers. *J Vasc Surg.* 1995;21:71-81.
38. Nie C, Yang D, Xu J, Si Z, Jin X, Zhang J. Locally administered adipose-derived stem cells accelerate wound healing through differentiation and vasculogenesis., 20 (*Cell Transplant* 2011), pp. 205-216.
39. Kim WS, Park BS, Sung JH, Yang JM, Park SB, Kwak SJ, et al. Wound healing effect of adipose-derived stem cells: A critical role of secretory factors on human dermal fibroblasts., 48 (*J Dermatol Sci* 2007), pp. 15-24.
40. Fathke C, Wilson L, Hutter J, Kapoor V, Smith A, Hocking A, et al. Contribution of bone marrow-derived cells to skin: Collagen deposition and wound repair., 22 (*Stem Cells* 2004), pp. 812-822.
41. Badiavas EV, Falanga V. Treatment of chronic wounds with bone marrow-derived cells., 139 (*Arch Dermatol* 2003), pp. 510-516.
42. Morton L. M., Phillips T.J. Wound healing update. , 31 (*Semin Cutan Med Surg* 2012), pp. 33-37.
43. Luo G, Cheng W, He W, Wang X, Tan J, Fitzgerald M, et al. Promotion of cutaneous wound healing by local application of mesenchymal stem cells derived from human umbilical cord blood., 18 (*Wound Repair Regen* 2010), pp. 506-513.
44. Zebardast N, Lickorish D, Davies JE. Human umbilical cord perivascular cells (HUCPVC): A mesenchymal cell source for dermal wound healing., 6 (*Organogenesis* 2010), pp. 197-203.



“Y LAS PLANTAS... ¿SIENTEN?”

“AND THE PLANTS... DO THEY FEEL?”

García - Servín Miguel Ángel^{1*}, Mendoza - Sánchez Magdalena¹, Contreras - Medina Luis Miguel¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n. Santiago de Querétaro, Qro. México

* Autor de correspondencia: miguel_cal45@hotmail.com

Resumen

Una de las grandes incógnitas que tiene la humanidad es si las plantas sienten, y, de ser el caso, cómo sienten. Los numerosos estudios científicos que existen sobre plantas muestran enormes diferencias entre su anatomía y la de los animales, así como la forma en que éstas sienten y responden al ambiente. A pesar de no contar con un sistema nervioso exactamente igual al de los humanos, las plantas cuentan con respuestas eléctricas a diversos estímulos físicos, las cuales se generan y propagan por la planta de distinta forma. En la actualidad se estudian estas señales eléctricas y las probables formas en las que éstas nos pueden ayudar a entender cómo es que las plantas sienten. Así, en el presente artículo se brindará información sobre los tipos de señales eléctricas que existen en las plantas, y sus potenciales aplicaciones.

Palabras clave: *Bioimpedancia, biosistemas, electricidad, estimulación, señales*

Abstract

One of the most important questions that humanity has is related with if plants can feel, and if so, how they feel. The numerous scientific studies that exist on plants show enormous differences between their anatomy and that of animals, as well as the way in which they feel and respond to the environment. Despite not having a nervous system exactly like that of humans, plants have electrical responses to several physical stimuli, which are generated and propagated by the plant in different ways. These electrical signals and the probable ways in which they can help us understand how plants feel are currently being studied. This article will provide information on the types of electrical signals that exist in plants, and their potential applications.

Keywords: bioimpedance, biosystems, electricity, signals, stimulation.

1. Introducción

En la cultura mexicana existe una relación muy estrecha con las plantas, ya sea para obtener alimentos o simplemente disfrutar de la belleza y aroma de las flores. Como sociedad compartimos gran parte de nuestro espacio y tiempo con estos seres vivos; sin embargo, existen algunos misterios sobre cómo cuidarlas. Usualmente, consideramos que una persona es capaz de mantener viva una planta porque tiene una conexión especial con ella, ya que sabemos lo difícil que es cuidar a estos seres vivos que no hablan ni se mueven. Además, al igual que los seres humanos las plantas pueden tener enfermedades de las que podemos no darnos cuenta. Las típicas instrucciones de exponer al sol y riego cada tercer día no aplican para toda planta ni garantizan su bienestar. Quizás, parte de esa aparente conexión especial se relaciona con la forma en la que una planta “siente”.

En algún momento de nuestras vidas, sobre todo siendo niños, hemos arrancado unas cuantas hojas o hasta una rama completa a una planta; en la mayoría de los casos, nuestros padres o abuelos, al percatarse de dicha acción, nos han externado comentarios como: “No la molestes, las plantas también sienten”. Sin embargo, ¿se han preguntado si las plantas realmente sienten, sufren o perciben su ambiente? Los seres humanos, al igual que muchos otros animales, conocemos nuestro entorno gracias a los sentidos. Uno de los más importantes es el tacto, que nos permite percatarnos y reaccionar ante una fuente de dolor, calor, frío y cualquier amenaza potencial; esta información es captada y llevada al cerebro a través del sistema nervioso mediante impulsos eléctricos. Así, la respuesta que el cerebro ordena al cuerpo es alejarse de la amenaza. En contraste, las plantas no cuentan con un sistema nervioso exactamente igual al nuestro; tampoco tienen un cerebro que procese información ni órganos que capten el ambiente, y mucho menos cuentan con la capacidad de huir de una fuente de dolor. No obstante, las plantas generan señales de respuesta a diversas situaciones que las estimulan. Por ejemplo, cuando una cabra se alimenta de una planta daña sus hojas y tallos con sus dientes, la planta sufre alteraciones y al percatarse de que hay sustancias o partes de estructuras fuera de su lugar inicia mecanismos de defensa; esto con el fin de no perder más agua y sustancias a través de las laceraciones. Así, las señales de respuesta a los estímulos externos pueden ser de naturaleza química (sustancias interactuando para generar otras sustancias o reacciones nuevas), hidráulica (las plantas transportan nutrientes y otros elementos mediante

agua, a través de una red de conductos similares a tuberías que recorren toda la planta desde la raíz hasta las hojas), o eléctrica (impulsos eléctricos asociados a diversos tipos de daños) (Fromm y Lautner 2007; Vodeneev y col. 2015; Huber y Bauerle 2016; Sukhov 2016); entonces, ¿las plantas ... sienten? En los últimos 20 años se han encontrado y estudiado señales eléctricas que la planta genera y capta. Estas señales se han clasificado con base en el tipo de estímulo que las provoca, así como la forma en que se generan y propagan a través de la planta. Por ello, en el presente artículo se presentará información sobre los tres principales tipos de señales eléctricas que se conocen en plantas. Asimismo, se brindará información sobre cómo se generan y propagan en la planta, qué es lo que las provoca y cómo el estudio de estas señales puede ser utilizado a favor de la agricultura. Finalmente se discutirá una respuesta científica a la pregunta: ¿las plantas sienten? ¿o simplemente son señales químicas, físicas o eléctricas que no involucran sentimientos?

2. ¿Cómo empezó todo?

Las plantas fascinan a la humanidad desde sus inicios por su aroma y belleza. La mayoría de las plantas no se mueven, pero algunas sí; justamente esas plantas llevaron al cuestionamiento si las plantas pueden sentir. La planta con movimiento más famosa, y que fue objeto de los primeros trabajos relacionados a señales eléctricas, es la planta carnívora “Venus atrapamoscas” (*Dionaea muscipula*). Este ser vivo que tanto entretiene a los niños presenta algunas hojas modificadas conocidas como “trampas” (Figura 1). Dichas hojas tienen un mecanismo similar a una bisagra; dentro de la trampa hay algunos filamentos sensibles, los cuales al ser tocados por algún insecto provocan una respuesta inmediata del cierre de la trampa, capturando al insecto y procediendo a “digerirlo” (Volkov 2012a, 2012b, 2018). La trampa se cierra en cuestión de pocos segundos, por lo que se cuestionaron ¿cómo lo hace tan rápido? Buscando responder esa pregunta es que a inicios de los años 1800 se presentan trabajos en los cuales se captan pequeños voltajes, justo antes de que las trampas se cierren (Lunevsky y col. 1983). Estos trabajos, provocaron una cascada de nuevos cuestionamientos: ¿las plantas también generan electricidad como nuestro sistema nervioso?, ¿tienen un sistema nervioso?, ¿tienen órganos que generan y captan estas señales?, ¿en qué otros procesos de la planta están involucradas?, y por

supuesto la pregunta clave ¿las plantas sienten? En torno a estas interrogantes se desarrollaron diversas

investigaciones, cuyos avances se presentan en la siguiente sección.

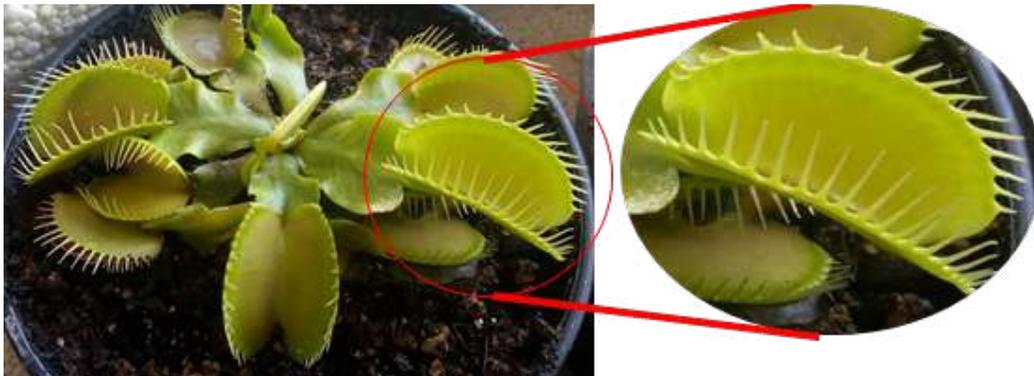
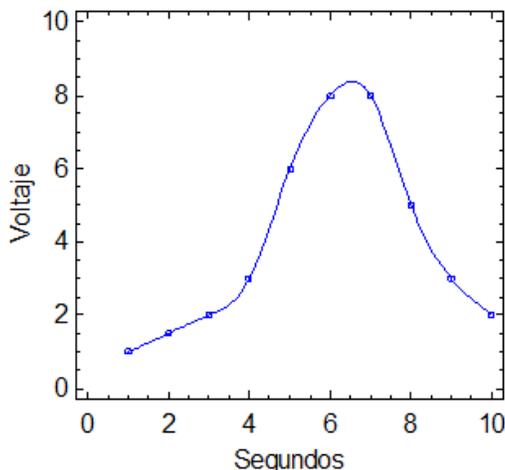


Figura 1. Planta carnívora “Venus atrapamoscas” y detalle hoja modificada conocida como “Trampa” (*Dionaea muscipula*). [Foto: colección privada]

3. Tipos de señales eléctricas en plantas

Para abordar el tema de señales eléctricas en plantas se debe definir el concepto de señal eléctrica, la cual se define como aquella que se deriva del transporte de electrones y/o transporte de iones en un medio; dicho transporte se puede medir como una corriente, voltaje o resistencia, y varía a través del tiempo (Gráfica 1). Estos cambios en valores pueden deberse a diversas situaciones; en el caso de las plantas, los cambios se asocian a estímulos de los que deben defenderse o aprovechar. Las señales eléctricas conocidas hasta el momento se clasifican según el tipo de estímulo que las provoca, así como la forma en la que ésta se propaga en la planta (Sukhov y col. 2018). Se han identificado muchas señales eléctricas en plantas, pero las principales se definen a continuación.



Gráfica 1. Señal de la variación de voltaje a través del tiempo [segundos]

3.1 Potencial de acción

Los potenciales de acción (Ap´s) se producen cuando la planta sufre un estímulo que no va causar un daño severo a la planta; dicho daño podría denominarse como no catastrófico. Ejemplos de estos estímulos son cambios repentinos de temperatura o iluminación, tensión mecánica debida a que se muevan ramas o tallos por el viento, o empuje de un animal sin que se rompan, o bien falta de agua. Este tipo de señal no depende de la intensidad del estímulo; esto quiere decir que en cuanto se sobrepase un cierto límite de tolerancia la señal eléctrica se va a generar, sin importar si la intensidad disminuye o aumenta posteriormente (Davies 2006; Fromm y Lautner 2007; Opiritov y col. 1991; Trebacz y col. 2006).

Los Ap´s se producen en algunas células de la planta mediante el intercambio de partículas específicas; básicamente ingresan a la célula iones de calcio (Ca^{2+}), activando canales de cloruro, y posteriormente fluyen fuera de la célula iones de potasio (K^{+}). Este flujo se va a dar de célula a célula de forma simplástica, lo que quiere decir que va a fluir de una célula a otra a través del plasmodesmo, el cual es un conducto mediante el cual las células intercambian sustancias (Figura 2) (Kourie y col. 1994; Lunevsky y col. 1983; Tazawa y Shimmen 1987; Williamson y Ashley 1982; Opiritov y col. 1991). Los AP´s tienen la característica de que al esparcirse por la planta la amplitud de la señal eléctrica no decrece; de hecho, la velocidad de la señal eléctrica

permanece constante, en el orden de milímetros por segundo (mm/s) o centímetros por segundo (cm/s) (Oprítov y col. 1991).

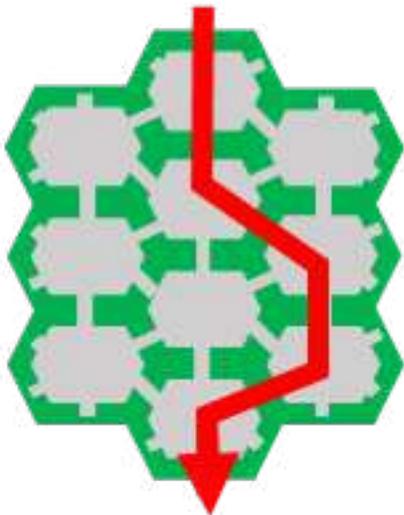


Figura 2. Flujo de una señal eléctrica (línea roja) tipo AP's entre células de forma simplástica

El estudio de la propagación de este tipo de señal se complica debido a que no es igual en todas las plantas. En plantas inferiores (musgos y hepáticas) se conocen dos mecanismos de propagación de este tipo de señal:

- A) Distancias largas: hay conjuntos de células conectadas entre ellas por corrientes eléctricas, similar a lo que ocurre en las células que conducen señales eléctricas en los animales (Beilby 2007).
- B) Distancias cortas: son células pequeñas conectadas por esa puerta llamada plasmodesmo, las cuales componen un sistema eléctrico simplástico por donde se propaga la señal (Trebacz y col. 2006).

En plantas superiores (árboles, cactáceas, pastos) este tipo de señal no es un patrón continuo. Los haces (xilema y parénquima) actúan como canales transmisores principales; los haces son conductos que recorren la planta completa desde las raíces hasta las hojas, y actúan como un sistema de tuberías, llevando agua con sustancias útiles para la planta.

3.2 Potencial de variación

Los potenciales de variación (Vp's) son las señales que se generan debido a daños que son catastróficos para la planta; por ejemplo, una quemadura directa por fuego, aplastamiento, incisión, o punción en los tejidos.

Por el contrario, los Ap's, la amplitud del estímulo, que se relaciona con la concentración de iones, afecta la distancia de propagación (de ahí el nombre) según la intensidad del estímulo, cuanto mayor sea el daño, mayor será la distancia que recorra la señal (Figura 3) (Oprítov y col. 1991; Stahlberg 2006; Vodeneev y col. 2015).



Figura 2 La amplitud y distancia que va a recorrer una señal tipo VP's va a variar según la dimensión del daño; en este caso, cuanto mayor es el tamaño de la flama que quema las hojas, más lejos llegará la señal en la planta (círculos rojos)

La propagación de estas señales en la planta puede tener velocidades de 0.2 mm/s hasta 20 mm/s; inclusive estas señales pueden transferirse por tejido muerto, y se puede inducir de nuevo en la planta después de unos minutos de reposo (Koziolok y col. 2004; Hlavackova y col. 2006; Fromm y Lautner 2007; Grams y col. 2009; Sukhov y col. 2012, 2015a; Bialasek y col. 2017). Diversas hipótesis se han propuesto para explicar qué genera esta señal, las cuales incluyen considerar que es una respuesta local a un daño hidráulico o químico, o la probable combinación de ambos:

- a) Señal hidráulica: esta hipótesis relaciona la generación del Vp's con variaciones en la presión hidráulica dentro de la planta, una vez que se genera el daño (Stahlberg y col. 2006).
- b) Señal química: esta hipótesis supone que existe una sustancia química que se propaga por uno de los haces vasculares de la planta, conocido como xilema, en el momento que se genera el daño; esta sustancia es la que induce la señal eléctrica (Vodeneev y col. 2015; Huber y Bauerle 2016; Sukhov 2016; Storti y col.

2018).

c) Combinación de señales: finalmente la hipótesis de que podría ser una combinación de las señales anteriores. El aumento en la presión hidráulica dentro de la planta podría provocar el flujo o ayudar al transporte de la sustancia química (Vodeneev y col. 2012, 2015; Sukhov y col. 2013; Evans y Morris 2017).

3.3 Potencial de sistema

El potencial de sistema (SP) es la señal eléctrica de la que menos información se tiene; esta señal se genera una vez terminados los movimientos de iones que ocurren durante la generación de los A_p 's y V_p 's. Un ion de calcio (Ca^{2+}) fluye por el apoplasto, que es el espacio entre célula, a lo largo del haz vascular xilema; de esta forma se va propagando por la planta a través de lugares por los que los A_p 's y V_p 's no pueden, (Zimmermann y col. 2009). La activación del SP dependerá de la ubicación del estímulo; por ejemplo, se sabe que aplicando calor a la primera hoja de un árbol de Álamo se obtiene un SP, pero al aplicarlo a la cuarta hoja se obtiene un V_p 's (Lautner y col. 2005).

Este tipo de señal se observa una vez que la planta es estimulada con sustancias como ácido abscísico (ABA), y elementos como hidrógeno (H^+), calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), sodio (Na^+), magnesio (Mg^{2+}); también esta señal se presenta cuando existe algún daño mecánico o daño por insecto alimentándose, aumento de temperatura y daño por fuego (Lautner y col. 2005; Zimmermann y col. 2009; Mousavi y col. 2013; Vuralhan y col. 2018).

4. Aplicaciones del estudio de señales eléctricas en plantas

Muchas señales eléctricas están asociadas a mecanismos de defensa de la planta ante diversos tipos de estrés, o incluso algunas señales son producto de los mismos; por lo que el conocimiento de la presencia, intensidad, o el resultado de la propagación de estas señales a través de la planta puede brindar pistas sobre su estado o sobre el entorno. En este sentido, existen trabajos reportados en la literatura. En uno de ellos se estudiaron las señales eléctricas en plantas de árbol de Olivo, mediante un arreglo de electrodos; las plantas eran sometidas a

diversos regímenes de riego. Los resultados mostraron que las señales eléctricas variaban según la intensidad del estrés hídrico causado. El uso de electrodos permite medir impedancia; la impedancia es la medida de la conductividad eléctrica ya sea del material sólido o del material líquido. En una planta se tiene material sólido y material líquido. Por ello cualquier estímulo dentro de la planta cambiará la conductividad, el problema es determinar la concentración de los iones involucrados o el mecanismo de conducción utilizado. Medir un potencial eléctrico es lo más sencillo, porque el potencial eléctrico es solo una diferencia de potencial entre un punto y otro. La diferencia de potencial es una variación en la concentración de portadores (iones o electrones) y del tipo de portadores. De igual forma, en otro estudio se propone un sistema para clasificar señales con base en la conductancia eléctrica en los tejidos de las plantas; así se puede conocer el estado de un cultivo respecto al agua (Comparini 2020), lo cual podría impactar directamente en la productividad y en el ahorro de agua. En otro estudio sobre estrés hídrico utilizan la presencia de señales eléctricas como un indicador de que la planta enfrenta el estímulo hídrico al mismo tiempo que un estímulo por calor, el cual se evalúa con otros indicadores fisiológicos; del estudio se concluye que las plantas de maíz pueden enfrentar varios estímulos externos al mismo tiempo, empleando diversos mecanismos de defensa de manera simultánea (Vuralhan y col. 2018). También se ha incursionado en el estudio de señales eléctricas asociadas a otros tipos de estrés; por ejemplo, el estrés producido por patógenos, microorganismos cuya actividad puede perjudicar a la planta y por ende a la producción de algún alimento. En un trabajo con plantas de jitomate se monitoreó la presencia de señales eléctricas, antes y después de la inoculación de las hojas con el hongo *Oidium neolycopersici*. Del estudio se concluyó que efectivamente se suscita una respuesta eléctrica, y que probablemente algunas señales eléctricas jueguen un papel fundamental en la interacción entre la planta y el patógeno; a pesar de que la inoculación fue en hojas, se percibieron señales en el tallo, información que podría ayudar en la futura detección de microorganismos en las plantas y se pueda tener una respuesta rápida antes de que se observen los daños (Simmi 2020).

Conclusión

Las plantas generan señales eléctricas a partir de estímulos, las cuales van a ser diferentes en la forma en que se generan y propagan a través de la planta dependiendo del tipo de estímulo. La presencia de estas señales se debe a situaciones perjudiciales para la planta, por lo que se ha comenzado a generar tecnologías que puedan captar e interpretar los diversos tipos de señales. Estas tecnologías pueden ayudar a prevenir daños en plantas de interés para el ser humano, daños que podrían afectar, por ejemplo, la producción de cultivos e impactar directamente en la disponibilidad de alimentos. También, estas tecnologías podrían ayudar en la reducción del uso de agroquímicos y consumo de agua, dado que sería posible conocer cuándo, exactamente, es que la planta necesita agua o algún químico y evitar aplicaciones innecesarias.

Por otra parte, respecto a la interrogante ¿las plantas sienten? se puede concluir que las plantas cuentan con estructuras que al ser estimuladas provocarán una señal de advertencia y una respuesta. Aunque esto no se pueda considerar completamente igual a la capacidad de sentir, es sin duda un mecanismo para percibir variaciones en respuesta a estímulos externos; algunos de estos estímulos pueden ser eléctricos, generando un potencial de acción. Así que, si usted decide arrancarle unas hojas o una flor a esa bonita planta, ésta va a percibir la señal ¿sentir? y a responder a dicha acción; pero tranquilo, estimado lector, no siempre esos estímulos son perjudiciales para las plantas. Por el contrario, pueden llegar a ser benéficos para su crecimiento y desarrollo. Entonces, un aparente daño para la planta, ¿puede ser benéfico para ella? Sí, sin embargo, eso no se trata en este artículo.

Referencias bibliográficas

Białasek, M., Gorecka, M., Mittler, R., Karpiński, S., (2017). Evidence for the involvement of electrical, calcium and ROS signaling in the systemic regulation of nonphotochemical quenching and photosynthesis. *Plant Cell Physiol.* 58, 207e215.

Beilby, M.J., (2007). Action potential in charophytes. *Int. Rev. Cytol.* 257, 43e82.

Comparini, D., Masi, E., Pandolfi, C., Sabbatini, L., Dolfi, M., Morosi, S., Mancuso, S. (2020). Stem electrical properties associated with water stress conditions in olive tree. *Agric Water Manag.*

Davies E., (2006). *Plant Electrophysiology. Theory and Methods*, Ed. by V. Volkov (Springer, Berlin), pp. 407- 422.

Evans, M.J., Morris, R.J., (2017). Chemical agents transported by xylem mass flow propagate variation potentials. *Plant J.* 91, 1029e1037.

Fromm, J. & Lautner, S., (2007). Electrical signals and their physiological significance in plants. *Plant Cell Environ.* 30, 249e257.

Grams, T.E., Koziolok, C., Lautner, S., Matyssek, R., Fromm, J., (2007). Distinct roles of electric and hydraulic signals on the reaction of leaf gas exchange upon reirrigation in *Zea mays* L. *Plant Cell Environ.* 30, 79e84.

Hlavackova, V., Krchnak, P., Naus, J., Novak, O., Spundov a, M., Strnad, M., (2006). Electrical and chemical signals involved in short-term systemic photosynthetic responses of tobacco plants to local burning. *Planta* 225, 235e244.

Huber, A.E., Bauerle, T.L., (2016). Long-distance plant signaling pathways in response to multiple stressors: the gap in knowledge. *J. Exp. Bot.* 67, 2063e2079.

Koziolok, C., Grams, T.E.E., Schreiber, U., Matyssek, R., Fromm, J., (2004). Transient knockout of photosynthesis mediated by electrical signals. *New Phytol.* 161, 715e722.

Kourie, J. I. (1994). Transient Cl⁻ and K⁺ currents during the action potential in *Chara inflata* (effects of external sorbitol, cations, and ion channel blockers). *Plant Physiol.* 106(2), 651-660.

Lautner, S., Grams, T.E.E., Matyssek, R., Fromm, J., (2005). Characteristics of electrical signals in poplar and responses in photosynthesis. *Plant Physiol.* 138, 2200e2209.

Lunevsky, V. Z., Zherelova, O. M., Vostrikov, I. Y., & Berestovsky, G. N. (1983). Excitation of Characeae cell membranes as a result of activation of calcium and chloride channels. *J Membr.* 72(1-2), 43-58.

Mousavi, S.A., Chauvin, A., Pascaud, F., Kellenberger, S., Farmer, E.E., (2013). GLUTAMATE RECEPTOR-LIKE genes mediate leaf-to-leaf wound signalling.

- Nature* 500, 422e426.
- Opritov V. A., S. S. Pyatygin, and V. G. Retivin, [1991]. *Bioelectrogenesis in Higher Plants* (Nauka, Moscow)
- Simmi, F.Z., Dallagnol, L., Ferreira, A.S., Pereira, D., Souza, G. [2020]. Electrometric alterations in a plant-pathogen system: Toward early diagnosis. *Bioelectrochem.*
- Stahlberg R., in *Plant Electrophysiology*. [2006]. Theory and Methods, Ed. by V. Volkov [Springer, Berlin], pp.3-14.
- Storti, M., Costa, A., Golin, S., Zottini, M., Morosinotto, T., Alboresi, A., [2018]. Systemic calcium wave propagation in *Physcomitrella patens*. *Plant Cell Physiol.* 59,
- Sukhov, V., Orlova, L., Mysyagin, S., Sinitsina, J., Vodeneev, V., [2012]. Analysis of the photosynthetic response induced by variation potential in geranium. *Planta* 235, 703e712.
- Sukhov, V., Akinchits, E., Katicheva, L., Vodeneev, V., [2013]. Simulation of variation potential in higher plant cells. *J. Membr. Biol.* 246, 287e296.
- Sukhov, V. & Sukhova, Ekaterina & Vodeneev, V.. [2018]. Long-distance electrical signals as a link between the local action of stressors and the systemic physiological responses in higher plants. *Progress in Biophysics and Molecular Biology.* 146. 10.1016/j.pbiomolbio.2018.11.009.
- Sukhov, V., Surova, L., Sherstneva, O., Katicheva, L., Vodeneev, V., [2015]. Variation potential influence on photosynthetic cyclic electron flow in pea. *Front. Plant Sci.* 5, 766.
- Sukhov, V., [2016]. Electrical signals as mechanism of photosynthesis regulation in plants. *Photosynth. Res.* 130, 373e387.
- Tazawa M. and T. Shimmen, [1987]. *Int. Rev.Cytol.* 109, 259
- Trebacz K., H. Dziubinska, and E. Krol, [2006]. Electrical Signals in Long-Distance Communication in Plants, Ed. by F. Baluska, S. Mancuso, and D. Volkmann, [Springer, Berlin], pp. 277-290.
- Vodeneev, V., Akinchits, E., Sukhov, V., [2015]. Variation potential in higher plants: mechanisms of generation and propagation. *Plant Signal. Behav.* 10
- Vodeneev, V., Orlova, A., Morozova, E., Orlova, L., Akinchits, E., Orlova, O., Sukhov, V., [2012]. The mechanism of propagation of variation potentials in wheat leaves. *J. Plant Physiol.* 169, 949e954.
- Volkov, A.G. [2018] Memristors and electrical memory in plants, in: F. Baluška, M. Gagliano, G. Witzany (Eds.), *Memory and Learning in Plants*, Springer, Berlin, New York, pp. 139-161.
- Volkov A.G. [2012a], *Plant Electrophysiology- Methods and Cell Electrophysiology*, Springer, New York, Berlin, ISBN: 978-3-642-29118-0.
- Volkov, A.G. [2012b], *Plant Electrophysiology- Signaling and Responses*, Springer, New York, Berlin, ISBN: 978-3-642-29109-8.
- Vuralhan-Eckert, J., Lautner, S., Fromm, J., [2018]. Effect of simultaneously induced environmental stimuli on electrical signalling and gas exchange in maize plants. *J. Plant Physiol.* 223, 32e36.
- Williamson, R. E., & Ashley, C. C. [1982]. Free Ca²⁺ and cytoplasmic streaming in the alga *Chara*. *Nature*, 296(5858), 647-651.
- Zimmermann, M.R., Maischak, H., Mithofer, A., Boland, W., Felle, H.H., [2009]. Systemic potentials, a novel electrical long-distance apoplastic signal in plants, induced by wounding. *Plant Physiol.* 149, 1593e1600.





EL ARQUETIPO DEL FRACASO

THE ARCHETYPE OF FAILURE

Violeta Zamora- Romero ^{1*}

¹ Estudiante de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro 76176, México.

* Autor de correspondencia: viozamora.vz@gmail.com

Palabras Clave: *Movilidad, Revolución industrial, Urbanismo*

Key Words: Mobility, Industrial Revolution, Urbanism

1. Introducción

La movilidad es el acto de moverse y moverse implica movimiento, así de confuso y certero define la RAE el concepto. Si bien es sabido que la movilidad implica un evento, una acción, un desplazamiento, desde la perspectiva urbana la movilidad es incluso una filosofía, una meta y un objetivo casi inalcanzable de desarrollo. Es un estándar de medición del éxito o fracaso económico y productivo de una ciudad, pero incluso más importante, un modelo de la calidad de vida de los habitantes con [de manera fascinante] efectos en el medio ambiente.

La movilidad, de aquí en adelante denominada “movilidad urbana”, para distinguirla del simple (pero no sencillo) acto de moverse, incluye cuestiones tanto de género como de políticas económicas, sociales y culturales involucradas en relaciones de suficiencia y poder. La movilidad urbana, como un atributo de la modernidad y de las ciudades, tiene su origen en los tiempos actuales; es una idea más reciente que antigua aún cuando las sociedades siempre han tenido la necesidad de moverse. “Como concepto relacionado con los núcleos urbanos, apareció en los últimos años del siglo veinte y todo indica que su importancia no decrecerá en el siglo XXI, debido a los índices crecientes de motorización, al incremento del transporte de mercancías y a la saturación del espacio aéreo.” (Fundación Transitemos, 2019).

Para reafirmar que los cambios económicos y sociales del pasado repercutieron de manera

innegable en las formas presentes de movilidad y configuración de la ciudad A. Lupano & J. Sánchez (2009) argumentan que “desde mediados del siglo XIX –Revolución Industrial mediante– la economía de mercado y el desarrollo económico han conducido a importantes migraciones poblacionales y al fenómeno generalizado de la urbanización: el acceso a trabajos mejor remunerados, y por tanto las expectativas de mejores ingresos personales y familiares, se encuentran indisolublemente unidas a la integración social en una ciudad.” Es decir que la esperanza en la mejora de la calidad de vida fue y es el motor principal para la migración de un lugar a otro, llámese *migración del campo a la ciudad o migración del sur de América al norte*.

Es fundamental destacar que, aunada a la migración humana y a la expectativa de mejora en la calidad de vida, se involucra así mismo el concepto de desarrollo, el cual “se trata de un fenómeno íntimamente vinculado al crecimiento económico y en consecuencia, a la dinámica del mundo desarrollado” (A. Lupano & J. Sánchez, 2009, p. 7). Siendo esto, que una ciudad no solo debe ofertar posibilidades de empleo sino, además, debe ser productiva y desarrollada. Durante el siglo XX, recordando un poco de historia universal, nos encontramos con diversos acontecimientos que marcaron a nivel mundial las pautas y los estándares de lo que sí debía ser una metrópoli, dejando en desventaja a los países con menos recursos y limitándolos dentro de las estadísticas como sitios pobres. Algunos de estos acontecimientos (Academia Play, 2016):

1. La Revolución Mexicana como herencia de conflictos universales anteriores en busca de un cambio en la organización social de un país

devastado.

2. La Primera Guerra Mundial que implicó un avance científico en la formulación de agentes bioquímicos
3. La Revolución Rusa que trajo al mundo un cambio en el paradigma del pensamiento y la organización política de un Estado.
4. La Guerra Civil Española con su lucha de clases e ideologías.
5. La Segunda Guerra Mundial como uno de los mayores genocidios de la humanidad, pero también con importantes avances científicos y tecnológicos, tales como el desarrollo del automóvil, la producción en masa y la modernización de la medicina.
6. La Guerra de Corea, como un enfrentamiento ideológico y territorial.
7. La Revolución Cubana, como el triunfo de un pensamiento de izquierda sobre la política dictatorial de Fulgencio Batista.

permiten reconocer que el siglo xx fue un estado de cambio a nivel mundial. Los métodos de producción, de organización social e inclusive los cambios ideológicos son las tres principales bases para entender el mundo que tenemos hoy en día. El trapecheo en los métodos de producción trajo consigo una nueva configuración en el arreglo de las “nuevas ciudades” entendiéndose por ciudad toda aquella conglomeración de personas cuya principal actividad económica es secundaria. Este cambio está marcado por las migraciones que se dieron de los campos hacia las urbes. En Latinoamérica la situación no fue muy diferente, R. Scobbie (1991) manifiesta que había ciudades. “De hecho, las ciudades desempeñaron un papel dominante, al menos, en el desarrollo de la América española, incluso cuando en ellas vivía sólo un pequeño porcentaje de la población total de la región. Generalmente eran pequeñas, pobres y agotadas. La América Latina rural impresionaba mucho más: los imponentes Andes, la vasta jungla amazónica, las interminables praderas de los llanos o las Pampas, los pintorescos villorrios indios, las enormes haciendas. Por consiguiente, era la América Latina rural la que

surgía con mayor vida de las crónicas de viaje, las cartas y los despachos de los decenios intermedios del siglo xix. A pesar de ello, la contemplación a vista de pájaro de la ciudad latinoamericana de 1870 preparará al escenario para los cambios espectaculares que, decenios subsiguientes, trajeron al paisaje urbano de la región. Esto, como comienzo de los cambios que se avecinaban en las ciudades latinoamericanas como producto de los acontecimientos europeos”. Él mismo continúa sosteniendo que “hasta las mayores ciudades latinoamericanas parecían pequeñas, [...] Tanto las residencias de los ricos y poderosos como las principales actividades urbanas de administración, servicios y comercio se concentraban alrededor de la plaza central. Río de Janeiro, La Habana, Ciudad de México y Buenos Aires: todas ellas tenían distritos centrales compuestos por sólo unos centenares de bloques. Estos distritos, que a menudo no se extendían más de cinco o diez manzanas desde la plaza principal, tenían aspecto de zona urbanizada: viviendas sólidas, pavimentación, aceras y faroles. En este distrito se ubicaban mercados, oficinas, almacenes, clubes, teatros, iglesias y escuelas, todo ello al servicio de la élite. Más allá de este núcleo se extendían las casuchas de los pobres, los caminos polvorientos de los distritos alejados y un ambiente que incluso al observador superficial le parecía más rural que urbano.” De esta manera queda asentado como las poblaciones latinoamericanas a partir de un núcleo central se iban concentrando y desarrollando de tal manera que todas las actividades económicas se establecían en un mismo eje desorganizado que hoy día tiene sus repercusiones culturales y organizacionales en la ciudad. Es así que “En este medio urbano, aparentemente primitivo y estático, la Revolución industrial de Europa había sembrado las semillas del cambio. La creciente demanda que había en los mercados y fábricas europeos de la gran variedad de alimentos y materias primas que podían producirse en América Latina, sumada al hecho de que desde hacía poco los habitantes locales podían comprar manufacturas procedentes del extranjero, empezaba a estimular niveles de comercio que eran impensables en el período colonial. Y la nueva tecnología incrementaba aún más la actividad comercial.” (R.

Scobie, 1991).

Queda asentado que, a través de los medios históricos y de los acontecimientos pasados, se justifican los modelos actuales que, a nivel latinoamericano, las ciudades han adoptado para su desarrollo sin esto significar necesariamente que hayan sido los óptimos y adecuados, acorde a las cuestiones culturales de los habitantes de países como México, Brasil, Chile y Argentina, entre otros. Sin embargo, ¿qué pasa con el futuro? ¿de que manera las formas actuales de organización social, económica, política y cultural evolucionarán?

2. Movilidad y globalización

Es sabido que el “crecimiento extendido en superficie y tener baja densidad y límites difusos” (Gutiérrez, 2013) son características propias de las ciudades globalizadas y la movilidad es un tema que atañe a todos los países del mundo, algunos de ellos han logrado “mejorar” sus sistemas a través de la implementación de nuevas formas de concebir la movilidad, entre los más comentados ejemplos puede citarse “el caso de los sistemas de autobuses rápidos y tronco-alimentados (conocidos, por las siglas en inglés, como BRT, Bus Rapid Transit), promovidos por la experiencia de ciudades latinoamericanas, cuya propia definición resulta borrosa [...]” (Gutiérrez, 2013, p. 62). Pareciera ser que este modelo resulta eficaz y eficiente para la ciudad de Curitiba y Brasil; sin embargo, queda la pregunta ¿es un modelo aplicable al resto de las ciudades latinas? Kruckemeyer (2006) menciona que “ser prudentes con los indicadores que parecen demostrar que estamos solucionando los problemas del mundo por medio de cifras cada vez mayores, es trabajo que los economistas utilizan para calcular la prosperidad.” Las cifras y los estándares no pueden aplicarse de manera masiva porque las ciudades son como las personas, únicas e irrepetibles, a pesar de que estén elaborados justamente para unificar y englobar ciertos parámetros comunes. Los números no describen el sentir de un ser humano, ni tampoco son eficientes para categorizar si algo es bueno o malo. Sin embargo, son adecuados para pensar en cantidades y porcentajes, por ejemplo, ¿cuántas

rutas del sistema de transporte público de la ciudad de Santiago de Querétaro están en buen estado? ¿Cuántas personas se trasladan en transporte público diariamente? ¿Cuál es el porcentaje de relación entre el costo de un pasaje en autobús ciudadano y el salario percibido por un empleado? Pero si queremos pensar en bienestar y calidad de vida, ¿qué porcentaje del estándar UNO-HABITAD es representativo de la felicidad? ¿Cuánto vale una sonrisa? ¿Cuál es el costo de una conversación de *microbús*?

Cada ser humano concibe su entorno de manera diferenciada, los trayectos pueden ser los mismos pero las experiencias no, de esta manera Jirón & Zunino Singh (2017) a través de (Urry, 2007) destaca que “la experiencia de la movilidad no es para nada homogénea; sería un error seguir concibiendo al automovilista, peatón o pasajero como un sujeto universal. La edad, el nivel socioeconómico o el género pueden develar diferencias estructurales (por ejemplo, respecto a la accesibilidad) pero también se develan en la experiencia misma de la movilidad (en el modo en que se vive, percibe y desarrolla dicha práctica)”. De esta manera, la movilidad se revela como una práctica social que, a su vez, se manifiesta de manera “política, en tanto expresa, permite, produce o contesta relaciones de poder” (Cresswell, 2010). Es así como la movilidad se manifiesta en la estructura social de las poblaciones, pero además, es productora de esas mismas estructuras. La movilidad las crea y las reproduce.

La situación de Querétaro, el estado número veintidós de México que “representa el 0.6% de la superficie del país y colinda al norte con Guanajuato y San Luis Potosí, al este con San Luis Potosí e Hidalgo, al sur con Hidalgo, México y Michoacán de Ocampo y al oeste con Guanajuato” (INEGI I. N., 2017). No es diferente a la de muchas otras, con miras al crecimiento desmedido de la población, la baja densidad y la expansión territorial del estado, específicamente la ciudad de Santiago de Querétaro se enfrenta a la problemática del transporte público.

A título de cultura general el estado se divide en dieciocho municipios de los cuales la ciudad de Santiago de Querétaro representa el número catorce y cuyas coordenadas (INEGI I. N., 2017) dice son “20°35'36”

latitud norte y 100°23'23" longitud oeste con una elevación de 1832 msnm [mil ochocientos treinta y dos metros sobre el nivel del mar].” Su organización, según el Artículo Primero de la Constitución Política del Estado de Querétaro menciona “El Estado de Querétaro de Arteaga es parte integrante de la Federación Mexicana. Es libre y soberano en lo que se refiere a su régimen interno y solo delega sus facultades al Supremo Poder de la Federación en aquello que fije expresamente la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.” Es por ello que cuenta con una máxima autoridad, encargada de llevar la administración de la entidad, a título de gobernador y para lo cual cada municipio, a su vez, se ve representado, según el Artículo 35, por un Ayuntamiento de elección popular personalizado por un presidente municipal, regidores y síndicos [Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Querétaro, 2019]. Entrando en detalles, el Estado de Querétaro cuenta con diversos atractivos turísticos y bellezas naturales indescriptibles, la teoría dice que la ciudad capital es considerada como un municipio próspero, abundante y con un desarrollo industrial al alza, un buen sitio para vivir, para invertir, para tener hijos y formar familias. En los últimos setenta años, el crecimiento poblacional del estado se ha disparado de forma considerable, de ser 286 mil habitantes en 1950 a los 2 millones 38 mil 300 habitantes año 2010 [INEGI, 2015]. De los cuales el 70% habita en las zonas urbanas y un 30% en zonas rurales [INEGI, 2015]. ¿Por qué es importante comprender estos datos? Es bien sabido que los países, estados, municipios, cabildos, regiones y cualquier otra forma de organización política en el mundo, tiende al crecimiento y al desarrollo. Querétaro no es la excepción, como ha dejado muy claro INEGI y eso implica que con el paso del tiempo se ha desenvuelto y lo seguirá haciendo tanto económica, como política y poblacionalmente. En los siguientes años se verá y confirmará una expansión territorial que obligará al Estado a plantearse nuevos cuestionamientos sobre cómo “La continua ampliación de los tejidos urbanos, tanto en extensión territorial como en densidad poblacional, origina [...] demandas crecientes sobre la infraestructura social, que permita atender las necesidades comunes.” [A. Lupano & J.

Sánchez, 2009, p. 9] Esto significa que la ciudad de Santiago de Querétaro enfrentará una constante en el crecimiento de la obra pública y el abastecimiento de los servicios “[...] que comprende, entre otros, a las redes de distribución de agua, saneamiento y energía, y la atención de las necesidades básicas de vivienda, educación y salud. Estas dimensiones revisten especial urgencia en el caso de los países en desarrollo, que suelen concentrar en la periferia de sus metrópolis a segmentos sociales de muy bajos ingresos, radicados de modo precario y con un acceso marcadamente desigual a los beneficios de la urbanización.” [A. Lupano & J. Sánchez, 2009, p. 9] Y no solo a los países, sino a los estados, municipios y comunidades.

3. Movilidad y género

La movilidad está compuesta de diversos aspectos de la vida cotidiana y se ve influenciada por diversos factores como bien menciona Alcántara (2010) en su estudio “Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad”. El autor sugiere que los principales factores que interfieren en la movilidad de las personas son: el ingreso, el género, la edad, la ocupación y el nivel educacional. Y, a continuación, describe que primeramente “[...] la movilidad aumenta con el aumento del ingreso.” [Alcántara, 2010, p. 31] y, en segundo lugar, “varía conforme a las características económicas y sociales de las personas.” [Alcántara, 2010, p. 31] Con esto resalta que el concepto de movilidad es un principio meramente humano que satisface una necesidad. Dentro de este mismo estudio, Alcántara (2010) hace alusión a que “el tamaño de la familia afecta directamente la demanda de transporte de un hogar, no sólo debido al número de personas que se desplazan sino también a la dependencia mutua que se da para elegir quienes van a desplazarse y el momento en que lo harán.” Resaltando de esta manera que este cumplimiento en la satisfacción de las necesidades humanas, ya no es un simple hecho individual sino al contrario, la movilidad también corresponde a un principio de colectividad, de lazos, de tiempos y horarios que involucra a muchas personas cuya principal característica es la mucha o poca capacidad económica.

En el estudio detallado de los factores que se involucran con el concepto general de movilidad se menciona que “La edad impacta directamente [...] con las tareas que son atribuidas, aceptadas o esperadas por parte de cierto grupo de personas, de acuerdo con las condiciones sociales.” (Alcántara, 2010, p. 32). Así es como se confirma que, según los grupos de edad, el traslado de un sitio a otro se verá afectado en función de las actividades diarias que desempeñe la sociedad a nivel colectivo por ejemplo “[...] las personas en fase “productiva” –entre los 20 y los 50 años– generalmente se desplazan más. Considerando que la escuela es la segunda mayor causa de desplazamientos en la mayoría de los lugares, los niños y los jóvenes también son considerados muy “móviles.” (Alcántara, 2010, p. 103) Esto quiere decir que aquellos elementos sociales que pertenecen a un grupo activo económicamente tendrán la necesidad de trasladarse a sus fuentes de empleo en un horario y ruta específico durante cierto periodo de tiempo. De esta manera se ha involucrado un concepto más a la cuestión del movimiento, el espacio.

Otro aspecto a considerar es que la elección en el medio de transporte a elegir “está fuertemente influenciado por el nivel de ingresos. Personas con bajos ingresos desempeñan mucho más el papel de peatones, ciclistas y usuarios de transporte público; personas con ingresos más altos suelen desempeñarse como motoristas o pasajeros de automóviles,” (Alcántara, 2010, p. 73) El argumento se sostiene según la cultura del país en el que se encuentre el usuario. Se tiene conocimiento de ciertos países africanos donde la bicicleta esta reservada exclusivamente a las huestes más pobres y su uso diario es mal visto e incluso ilícito. Así se reconoce que la idiosincrasia pública tiene un fuerte peso en la toma de decisión sobre cómo debe ser la movilidad del pueblo. Y dentro de esta toma de decisión se empiezan a resaltar aspectos más tangibles que no solo se relacionan con la economía o la cultura sino con aspectos físicos que también se ven involucrados al momento de realizar un desplazamiento. La movilidad, como parte de un sistema de consumo y de servicio, se

involucra con bienes materiales o inmateriales, como reconoce Alcántara (2010) que “el primer consumo es inmaterial y está relacionado con el tiempo de desplazamiento, [...] Disminuir el consumo de tiempo al mínimo posible siempre es el objetivo final para que quienes se desplazan puedan usarlo también en la realización de otras actividades. El segundo consumo es el de espacio. La movilidad demanda espacio en dos oportunidades: primero, cuando hay construcción de infraestructura de circulación y en segundo lugar, cuando las personas utilizan dicha infraestructura. En el primer caso, [...] las aceras, autopistas, terminales de autobuses, estaciones de trenes y ferrocarriles metropolitanos ocupan un gran espacio físico, cuyo costo de construcción y mantenimiento es pagado por la sociedad. En el segundo caso, las personas consumen distintas cantidades de espacio vial cuando utilizan distintas maneras de transportarse. El tercer consumo es el de energía, [...]. La energía es consumida por todos los vehículos motorizados o electrificados. El cuarto consumo es el de recursos financieros. Por un lado, este costo afecta al gobierno –con los costos de mantenimiento vial, señalización, operación y fiscalización del tránsito. Por otro lado, afecta a las personas que usan vehículos motorizados, pues tienen que pagar tarifas –en el caso del transporte colectivo y los taxis– o los costos de un vehículo individual como un automóvil o una motocicleta.” (Alcántara, 2010, p. 51) Es así como la movilidad se podría resumir en cuatro grandes rubros, como se muestra en el esquema 1. Donde el tiempo es un recurso limitado, finito, intangible e irremplazable dependiente de cada persona. El espacio es un recurso físico, tangible, comunal donde se desarrollan las actividades humanas de estudio, trabajo, esparcimiento y recreación, entre otras, dotada de infraestructura urbana como vivienda, parques, comercios, servicios y vialidad que implican una modificación al espacio natural cuyo éxito depende de la energía (desde la transformación de la materia prima hasta la mano de obra) y la disponibilidad en recursos financieros. Es un esquema que funciona a nivel macro-global y a nivel micro-individual.



Esquema 1. Elaboración propia

Sin embargo, dentro de estos elementos se debe considerar la parte de los residuos, el efecto de moverse genera una reacción que impacta el mismo espacio en el cual se produce la acción. Todo uso de recursos genera un retobo de éstos y entre ellos la contaminación visual, auditiva y aérea ejercen un fuerte impacto ambiental que merma la calidad de vida de los seres humanos. Aunado a esto, el desperdicio de los propios vehículos, tales como aceites, neumáticos, autos viejos y el perjuicio de conductores de autos contra ciclistas o peatones generan un vicio que decrece en la satisfacción general del habitar. De esta manera, en la convención titulada “Hoja de Ruta”, para una Movilidad y un Transporte Sostenibles en Lima y Callao al 2025 (2013), se considera que en “las vías urbanas y en las carreteras debe primar la fluidez, con menos atascos, menos emisiones contaminantes y más seguridad.” Para lograrlo es necesario tener un sistema de transporte pensado en las características y necesidades de las personas. Esto es importante ya que una adecuada infraestructura de transporte público “que permita movilizar a personas [...] se trata de un problema compartido en gran medida por las ciudades del mundo desarrollado: la creciente motorización y extensión del uso del automóvil privado plantea dificultades generalizadas en materia de congestión de tráfico, así como ingentes costos sociales en el campo ambiental y de accidentalidad [...] (A. Lupano & J. Sánchez, 2009, p. 9). Dado lo anterior es fundamental que las ciudades tomen acciones y medidas en cuanto a movilidad en beneficio de sus

habitantes y sobre todo del medio en el que habita; la Tierra.

4. Movilidad y prospectiva

Analizar el sistema de movilidad actual, en específico el transporte público de la ciudad de Santiago de Querétaro, es sin duda el primer paso para generar a través de la evaluación de rutas, tiempos y recorridos vigentes una propuesta de un plan de diseño que tenga como base un sistema de movilidad interconectado, eficaz y eficiente; asimismo analizar la situación presente de los habitantes y de la ciudad para lograr generar un cambio significativo en los medios y preferencias de traslado de los ciudadanos. Evaluar las condiciones actuales de la ciudad, con respecto al tema de movilidad, es indispensable para conocer la opinión general real de los habitantes sobre el transporte público y conocer las utopías de los habitantes con respecto al transporte público. Estudiar de manera detallada el actual sistema es importante para conocer como está organizado institucionalmente el transporte público de la ciudad; así como sus rutas, recorridos y unidades existentes. Y finalmente, generar una propuesta de diseño preliminar del sistema de movilidad para la ciudad de Santiago de Querétaro, considerando su situación actual (horas pico, zonas de flujo constante, zonas conflictivas, paradas estratégicas) es pauta clave para una investigación exitosa que con datos actuales resuelva problemáticas futuras.

5. El fin

Cuando un sistema colapsa es culpa de todos, es culpa de la cultura, de la sociedad, del gobierno. Es como un equipo de trabajo que no se comunica, unos no quieren hacer nada y otros quieren hacerlo todo. Así mismo la movilidad urbana es un sistema que se integra de peatones, vehículos, bicicletas, entre otros medios diversos y bastante imaginativos, cuya vía de comunicación son las carreteras; es imposible que el sistema funcione si un tipo de vialidad predomina sobre el otro y si culturalmente no se ataca el simbolismo de un estatus. El sistema

hay que imaginarlo a futuro, hay que pensar como urbanistas, arquitectos y diseñadores que todo es un mercado; el negocio del intercambio y del movimiento. Las ciudades indudablemente cambiarán, para mal es la tendencia para bien es lo ideal, pero a donde sea que la balanza se incline, seguiremos siendo humanos. Seguiremos teniendo necesidades y una de ellas será principalmente la de trasladarnos, es precisamente por eso que las cosas no pueden quedar impunes ni seguir tal como las vivimos ahora. A sabiendas de la existencia de nuevas formas de relación, ante situaciones incontenibles como las pandemias actuales y venideras, los sistemas de movilidad y el pensar de la ciudad debe ir evolucionando a la par sobre nuevas maneras de habitar y de trasladarse, con la idea clara sobre el derecho a la ciudad, al espacio público, a la recreación, al ejercicio y al movimiento.

Referencias bibliográficas

- A. Lupano, J., & J. Sánchez, R. (febrero de 2009). Políticas de movilidad urbana e infraestructura urbana de transporte. Santiago, Chile.
- Academia Play. (4 de Octubre de 2016). Academia Play. Recuperado el 27 de Octubre de 2020, de El siglo XX en 20 acontecimientos : <https://academiaplay.es/siglo-xx-20-acontecimientos-2/>
- Alcántara, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Bogotá, Colombia: CAF.
- Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Querétaro (23 de Agosto de 2019). *Fundación Transitemos*. (20 de Agosto de 2019). }
- Fundación Transitemos. Recuperado el 29 de Octubre de 2021, de ¿Qué es movilidad?: <https://transitemos.org/que-es-la-movilidad/>
- Gutiérrez, A. (2013). ¿Qué es la movilidad? Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. *Bitácora*, 14.
- INEGI. (2015). *Cuéntame*. Recuperado el 25 de octubre de 2020, de Información por entidad: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/Queret/Economia/default.aspx?tema=ME&e=22>
- INEGI, I. N. (24 de mayo de 2017). Anuario estadístico y geográfico de Querétaro 2017. Querétaro, Querétaro, México.
- Jirón, P., & Zunino Singh, D. (2017). Dossier. Movilidad Urbana y Género: experiencias latinoamericanas. *Revista Transporte y Territorio* (16), 1-8.
- Kruckemeyer, K. E. (2006). Recogiendo ideas: la importancia del estilo en la toma de decisiones sobre transporte público. 14.
- R. Scobie, J. (1991). Capítulo 7. El crecimiento de las ciudades latinoamericanas, 1870-1930,. En J. R. Scobie, *Historia de America Latina Tomo VII*. (pág. 358). Barcelona: Leslie Bethell.
- Varios. (11 de Julio de 2013). Hacia una ciudad para las personas. *Hoja de ruta para una movilidad y un transporte sostenibles*. Lima, Callao, Perú.





ACUAPONÍA: UNA ALTERNATIVA VERSÁTIL E INTEGRAL EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS PARA EL ENTORNO MEXICANO

AQUAPONICS A VERSATILE AND INTEGRATED ALTERNATIVE IN FOOD PRODUCTION FOR THE MEXICAN ENVIRONMENT

Flores-Aguilar Priscila S. ^{1*}, García-Trejo Juan Fernando ^{1*}, Sergio Iván Martínez-Guido ^{1*}

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, Carretera a Chichimequillas s/n, km 1, el Marqués, Querétaro, 76265, México.

* Autores de correspondencia: pflores21@alumnos.uaq.mx. fernando.garcia@uaq.mx. mciq.martinez@gmail.com

Resumen

La agricultura tradicional es responsable de un gran porcentaje de la huella ecológica. Sin embargo, la acuaponía, considerada un sistema de producción agrícola moderno, es sostenible en términos de uso eficiente de recursos naturales. La acuaponía es una técnica que ocupa dos tipos de cultivos, el cultivo de peces [acuicultura] y el de plantas [hidroponía]. Esta manera de cultivar, además de sostenible, es versátil y se puede adaptar tanto a los entornos urbanos mexicanos, como a peri-urbanos y rurales. Se presenta una clasificación sobre diferentes diseños de la acuaponía considerando acomodos espaciales, especies utilizadas y adaptaciones en la recirculación del agua. La información incluida en este manuscrito pretende informar sobre la creación de sistemas acuapónicos a pequeña escala y semi-comercial, que cumplan las necesidades de México. Una vez que se establecen estos sistemas, es necesario generar una base de datos respecto a la inversión, gasto de recursos y rendimiento de estos sistemas, ya que la información nacional es limitada. Esta información podrá confirmar lo que las tendencias mundiales dicen con respecto a la eficiencia y sostenibilidad de la acuaponía y propiciar la propagación de esta técnica para desarrollarla con más confianza a nivel nacional y disminuir la huella ecológica que actualmente tiene el país.

Palabras claves: *agricultura urbana, biosistemas, conservación de recursos, huella hídrica, productividad, sostenibilidad.*

Abstract

Traditional agriculture is responsible for a large percentage of the ecological footprint. However, aquaponics, considered a modern agricultural production system, is sustainable in terms of the efficient use of natural resources. Aquaponics is a technique that occupies two types of culture, fish (aquaculture) and plant (hydroponics). This way of growing is also versatile and can be adapted to Mexican urban, peri-urban, and rural environments. Thus, a classification of different designs, spatial arrangements, species used, and adaptations in the recirculation of water in aquaponics are presented. The information provided pretend to inform about small and semi-commercial scale aquaponic systems that meet the Mexican requirements. Once established, it is necessary to generate a database regarding investment, resource expenditure, and performance of these systems since national information is limited. This information will be able to confirm what global trends say regarding the efficiency and sustainability of aquaponics and to propitiate the use of this technique with more confidence at the national level and reduce the ecological footprint that occur nowadays.

Keywords: *urban agriculture, biosystems, resource conservation, water footprint, productivity, sustainability.*

1. Introducción

Desde hace más de 50 años, el aumento de la población y su actividad han rebasado la capacidad biológica de regeneración de los recursos naturales de nuestro planeta. En 1970, el déficit de recursos disponibles alcanzó el 1% y en el 2019 este valor sobrepasó el 50% (GFN, 2020). Lo anterior sugiere que los patrones de consumo de la población tienen una relación estrecha con la huella ecológica (Lara y Falfán, 2012).

En este marco, la sección del sector agrícola dedicada a la producción de alimentos es una de las que tiene mayor huella ecológica, principalmente debido a sus requerimientos de nutrientes (fertilizantes) y consumo de agua (Mateo-Sagasta y Zadeh, 2018). En México se emplean 61.7 kg de fertilizante por cada hectárea cultivable, lo cual equivale al 10% de los gases de efecto invernadero (Bank y CIAT, 2015). De esa cantidad de fertilizantes solamente el 50% es aprovechable por las plantas y el resto se filtra a los suelos o se arrastra con las aguas de riego. Este efecto adverso es uno de los tantos que impactan no solo a México, sino a todos los lugares en donde se realizan prácticas agrícolas. Otros efectos causados por estas actividades son: i) disminución y cambios en los patrones de precipitación pluvial, ii) incremento en la variabilidad del clima, iii) incremento en la temperatura global, iv) eutrofización en cuerpos de agua dulce (Antigua, 2016). Ante la problemática causada por las malas prácticas agrícolas han surgido algunas alternativas. Por ejemplo, se ha propuesto la siembra de variedades agrícolas resistentes a plagas, rotación de cultivos, manejo integrado de plagas (FAO, 2018). También se han implementado técnicas de riego por goteo, así como los cultivos protegidos, es decir en invernaderos o túneles plásticos (Lozano y Ruiz, 2016). Otra alternativa de producción agrícola es la acuaponía. La acuaponía es la combinación de la acuicultura (cultivo de organismos acuáticos) y la hidroponía (cultivo sin suelo) en la que las aguas residuales acuícolas se utilizan para regar las plantas en lugar de las soluciones nutritivas hidropónicas. Estas aguas residuales proveen más del 50% de los nutrientes necesarios para el crecimiento óptimo de las plantas y pueden permanecer recirculando en el sistema por periodos prolongados (Palm y Knaus, 2018b). En particular, la

acuaponía es uno de los sistemas de producción agrícola más eficiente y sostenible. La acuaponía o sistemas acuapónicos posibilitan resolver los problemas de los sistemas agrícolas convencionales, los cuales incluyen baja productividad, consumo excesivo de agua, baja diversificación de productos, desperdicio de nutrientes y agua (Gooley y Gavine, 2003). En este sentido, los sistemas acuapónicos pueden ser identificados como sistemas sostenibles (König y Junge, 2016; Lobillo-Eguíbar y Fernández-Cabanás, 2020). Los beneficios de cultivar de esta manera integrada se conocen desde hace 1500 años y sus variantes y modificaciones en el diseño se han estudiado durante las últimas 4 décadas (Yang y Kim, 2020). Dentro de los sistemas acuapónicos se han cultivado con éxito al menos 150 especies de plantas entre las cuales están hierbas de olor, flores, vegetales y árboles pequeños (Australia, 2015), y sus diseños se han adaptado para diferentes dimensiones espaciales (Palm y col., 2018b). Con todo, aún no se explota de manera completa el potencial de esta técnica integrada de producción. La versatilidad de los sistemas también pueden ser de beneficio para las prácticas agrícolas actuales de México; inclusive, para las zonas con un limitado acceso a fuentes de agua dulce (FAO, 2018). Por esta razón, se obtendrían beneficios ambientales, sociales y económicos. Sin embargo, debe tenerse un conocimiento previo del manejo de estos sistemas o al menos, investigar sobre los diferentes diseños que se usan actualmente para que, los mismos, sean más eficientes. También es necesario conocer las condiciones climáticas del lugar, ya que éstas pueden afectar variables tales como pH, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes y, conociendo éstas, pueden adecuarse las condiciones para obtener un rendimiento adecuado de los peces y de las plantas. En el presente artículo se brinda una clasificación sobre diferentes diseños, acomodos espaciales, especies utilizadas y adaptaciones en la recirculación del agua utilizados en la acuaponía. También se describen las ventajas y desventajas de cada uno de estos sistemas. De esta manera se espera proporcionar al lector una visión general, así como la versatilidad de los sistemas acuapónicos. Adicionalmente, se desea despertar el interés de incursionar en este tipo de cultivo.

2. Clasificación de sistemas acuapónicos

Los sistemas acuapónicos (AQ) fueron propuestos hace 40 años, y desde entonces éstos han evolucionado de manera significativa.

La Figura 1 muestra una clasificación de los sistemas acuapónicos, la cual incluye 6 aspectos principales que se deben conocer para que tener un conocimiento general sobre ellos.

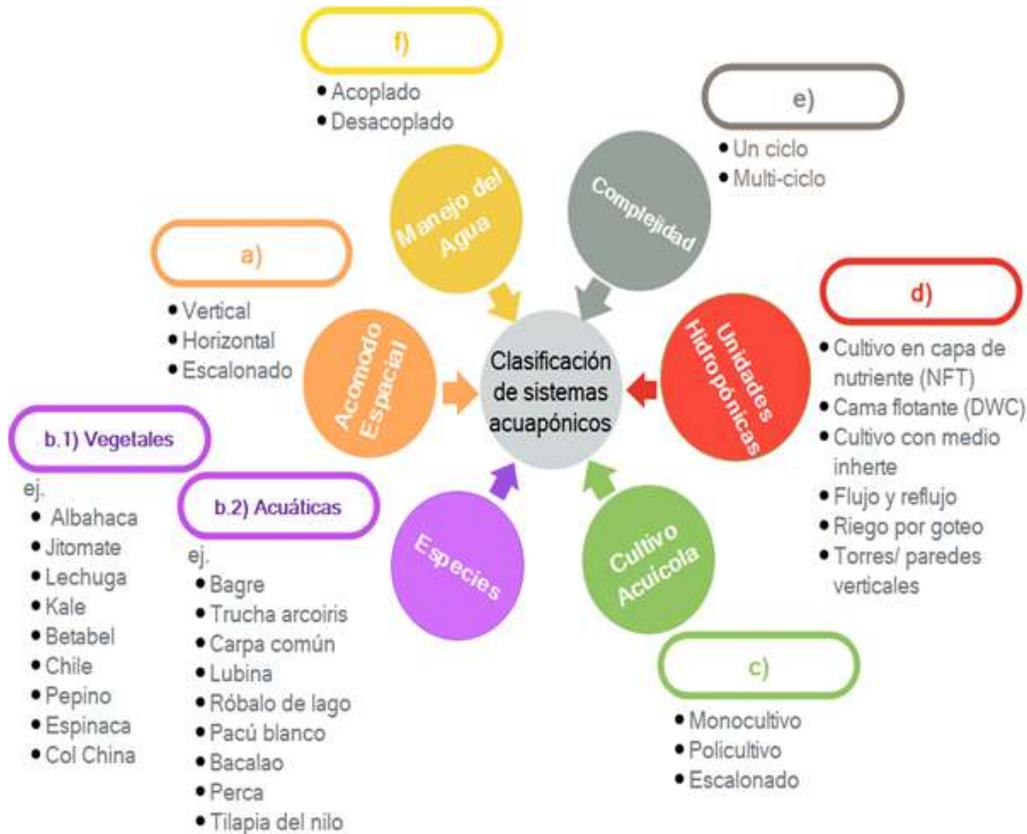


Figura 1. Clasificación general de sistemas acuapónicos respecto a 6 tópicos.

2.1. Acomodo espacial

El acomodo espacial se refiere a la manera en cómo se arreglan las plantas dentro de ciertas estructuras en un espacio disponible. Las tres principales estructuras de los AQ tienen formas vertical, horizontal y escalonado. El uso de cada estructura dependerá del espacio disponible.

2.1.1. Vertical

En el sistema acuapónico con estructura vertical, el agua proveniente del cultivo acuícola riega las plantas de arriba hacia abajo. El exceso de agua en la parte superior cae hacia las plantas inferiores. Estos sistemas pueden o no recuperar el agua para recircularla. La principal ventaja de los sistemas con forma vertical es que aprovechan mejor el volumen completo del lugar en términos de espacio. Una desventaja que tiene este acomodo espacial es que

en la parte más alta del sistema la incidencia de luz UV será mayor. Esto puede causar que las plantas crezcan más en la parte superior y creen sombra sobre las plantas de abajo, o simplemente que la luz excesiva las dañe. En este tipo de acomodo se deben colocar plantas de corta altura ya que si son de alturas superiores a un metro existe el riesgo de que caigan del soporte. Estos sistemas se ocupan en su mayoría en zonas urbanas, debido a los espacios reducidos. Un ejemplo de plantas que se pueden cultivar en estos sistemas son lechuga, fresa o albahaca (Al-Kodmany, 2020).

2.1.2. Horizontal

El sistema acuapónico con estructura horizontal consta de uno o varios tubos horadados en la parte superior en donde se colocan las plantas (fig. 2). También pueden

usarse canaletas, en este caso las plantas deberán ir en algún soporte físico como bolsas horadadas con medio inerte. Es este sistema, el agua proveniente del cultivo acuícola entra por un extremo del tubo (A) hasta llegar al otro extremo (B) o viceversa según convenga al productor. De esta manera el agua permanece recirculando en el sistema y las raíces de las plantas están en contacto continuo con ella.

Esta estructura es la más conocida y en general se lleva a cabo con la técnica de NFT abordada más adelante. Una ventaja de estos sistemas es que son los más sencillos de instalar y requieren menos cuidado en sus tuberías pues no suelen taparse con los sólidos disueltos del agua. Otra ventaja de éste sistema, es que las plantas que se cultivan aquí pueden ser de diferentes tamaños. La desventaja principal de la estructura horizontal, es que requieren de gran espacio para que el cultivo de las plantas sea rentable. A pesar de eso, esta disposición espacial se ocupa para escalas semi-comerciales y gran escala (Hughey, 2005).



Figura 2. Representación de un sistema acuapónico con estructura horizontal

2.1.3 Escalonado

El sistema acuapónico con estructura escalonada es una mezcla entre las dos primeras estructuras. En estos sistemas el agua fluye de la parte superior hacia la inferior. Al igual que en la estructura horizontal, el agua va de un extremo al otro para regar todo el sistema. Dependiendo de lo que se desee, el agua puede llegar a

cada tubo o canaleta de manera individual sin regar otros tubos adyacentes. Luego, el agua excedente de cada tubo puede recuperarse de manera separada o en conjunto en algún reservorio. Otro modo de irrigar las plantas se da conectando todos los tubos a modo de zigzag. De esta manera el agua pasa desde el extremo superior al final del primer tubo y sigue su ruta por el extremo del tubo inferior. La ventaja de la estructura escalonada es que permite colocar diferentes especies de plantas, tanto pequeñas como grandes, y diversificar la producción. Este tipo de arreglo aprovecha el espacio y al mismo tiempo proporciona soporte a diferentes tamaños de plantas. Con base en los requerimientos nutricionales de las plantas se debe considerar cuales plantas poner arriba y cuales abajo. Por lo general las plantas que reciben primero el agua, es decir, en donde se inicia el riego, tienden a crecer más que las últimas que reciben el agua. Este fenómeno se debe a que las primeras plantas absorben primero los nutrientes dentro del agua. De tal manera, que el agua que llega a las últimas plantas reciben un agua con menos nutrientes que la primera. De igual forma que en el sistema vertical, las plantas de la parte superior siempre tienen mayor incidencia de luz, lo que favorece su crecimiento. Así que se recomienda que las plantas con mayor requerimiento nutricional sean las primeras en recibir el agua del cultivo acuícola (Rakocy y Shultz, 2003).

2.2. Especies cultivadas

En la categoría anterior abordamos lo concerniente a las estructuras más comunes que se usan en los sistemas acuapónicos. Ahora consideraremos algunas de las especies más comunes, tanto acuáticas como vegetales, que se cultivan en los sistemas acuapónicos. Las especies vegetales dentro de los sistemas acuapónicos sirven como un filtro natural de los desechos de los peces (heces y orina) junto con la comida no consumida. Las raíces de las plantas, de manera natural, alojan microorganismos que transforman los desechos de los peces en formas químicas que ellas pueden absorber para nutrirse.

Dependiendo de la densidad de peces que se cultiven en el estanque será el requerimiento de plantas que se pueda cultivar. Si se pone menor cantidad de plantas se requerirá hacer recambios en el estanque de los peces para eliminar los nutrientes extra a fin de mantener la

calidad del agua para los peces. Si se pone una mayor cantidad de plantas que las que el sistema puede nutrir se requerirá añadir una mayor cantidad de fertilizantes al agua. Esto generará un mayor gasto económico y la necesidad de monitoreo del agua más estrictos a fin de no intoxicar a los peces.

La combinación entre peces y plantas dependerá, primeramente, de la temperatura en la que crecen mejor. Por ejemplo, la tilapia, el bagre y la carpa crecen bien en temperaturas cálidas y suelen cultivarse con albahaca, col y lechuga. Aunque la lechuga y el pepino crece mejor en temperaturas más bajas. Lo que se hace en estos casos es tener una temperatura intermedia de la preferida [Somerville y Cohen, 2014]. En estudios recientes se reportó que hay combinaciones de especies acuáticas y vegetales que muestran mejor rendimiento. Ejemplos de lo anterior son la combinación de jitomate con tilapia o jitomate con perca [Hu y Lee, 2015; Yang y Kim, 2020].

2.2.1. Especies vegetales

Para escoger las plantas que se utilizarán en cualquiera de las estructuras descritas, se debe analizar el mercado. La especie vegetal que conviene cultivar es la que tiene un mayor consumo local. Sin embargo, también se debe considerar que esta especie sea resistente a altos porcentajes de nitrógeno pues el agua residual acuícola tiene esta característica. Los vegetales de hojas verdes han sido los preferidos dentro de los sistemas acuapónicos, la razón es que crecen bien en aguas con alto contenido de nitrógeno, su ciclo de crecimiento es corto y no tienen altos requerimientos nutricionales. Entre las especies más cultivadas se encuentran espinaca, jitomate, col china, albahaca, pepino, y lechuga. Otras especies vegetales que se están probando actualmente son los árboles frutales, entre ellos están papaya, mango, naranja y cítricos [Australia, 2015], además de los ejemplos mencionados en la fig. 1. Existen otras especies que se pueden cultivar y que son tolerantes a baja salinidad; estas especies se trabajan en conjunto con organismos marinos. Ejemplos de ellos son el nabo, rábano, lechuga, camote, haba, maíz, repollo, espinaca, espárragos, remolacha, calabaza, brócoli y pepino [Kotzen y Emerenciano, 2019].

2.2.2. Especies acuáticas

Las especies acuáticas requieren un alimento específico.

El pescado necesita en su alimentación 7 minerales (Ca, F, K, Na, Cl, Mg y S) y 15 oligoelementos. Sin embargo, por comodidad hacia los productores acuícolas, se han estandarizado alimentos para suplir la mayoría de los requerimientos nutrimentales que los peces necesitan. La especie acuícola que se cultiva por excelencia es la tilapia [Oniga y Jurcoane, 2018]. Otras especies que comúnmente se cultivan son el bagre, la perca, la trucha y el langostino. Incluso, son utilizados peces ornamentales como las carpas doradas y koi, además de los ejemplos que se muestran en la fig. 1.

De igual manera existen sistemas acuapónicos con especies marinas [haloponía]. Aunque este tipo de sistemas no son tan populares pues requieren mayor control de sus variables [temperatura, oxígeno disuelto y conductividad de las sales, entre otros]. Las especies que se cultivan son plantas amantes de la sal [halófitas], moluscos marinos y de aguas salobres, peces de aleta y crustáceos marinos. Se pueden cultivar, en conjunto, plantas marinas o con algunas de agua dulce tolerantes a salinidad [Kotzen y col., 2019].

2.2.3 Cultivo acuícola

Se refiere a cómo se realiza la “siembra” de los peces en los estanques. La primera manera de cultivar los organismos acuícolas es por monocultivo y se refiere a cultivar una sola especie acuícola en el estanque. En el policultivo o “poliponía” se cultivan al menos dos especies dentro del mismo estanque. Las combinaciones de especies se basan en la profundidad, en el agua del estanque, que prefieren estas especies. Se deben escoger especies que no compitan por la misma profundidad en el agua, sino que una prefiera el fondo y la otra el medio o la superficie. Esto permite que el alimento se consuma mejor y que el agua permanezca con menos sólidos disueltos. Aunque la poliponía puede ampliar la diversidad en la producción, también requiere una mayor habilidad en el manejo del cultivo. Esto hace que esta técnica se aplique menos; sin embargo tiene mucho potencial de explotación [Yep y Zheng, 2019].

En el cultivo por lotes o escalonado, lo primero que se hace es colocar una densidad de alevines (cría de pez) conocida en el estanque. Aproximadamente un mes después se divide, dependiendo la densidad, en dos o más partes y se coloca en nuevos estanques. Al primer

estanque se añaden alevines para mantener la densidad inicial. En el siguiente mes se cosechan los peces con mayor tamaño y se vuelve a añadir alevines. De esta manera se puede mantener un cultivo constante (Palm y Knaus, 2018a). La ventaja de este método de cultivo es que se tiene una producción constante y por lo tanto una venta constante. La desventaja de esta técnica es la necesidad de tener al menos tres o cuatro estanques a los cuales se les deberá cuidar la calidad del agua para que no enferme ningún organismo. En este caso, si llegara a enfermar algún organismo requeriría sacrificarlos inmediatamente o utilizar antibióticos, lo cual baja la calidad del producto final.

2.3. Unidades Hidropónicas

Cuando hablamos de unidad hidropónica nos referimos a la manera o técnica hidropónica específica de regar las plantas. Estas técnicas son las siguientes:

2.3.1. Cultivo en capa de nutriente

El cultivo en capa de nutriente (nutrient film technique- NFT) es una técnica en la cual la solución nutritiva se suministra lentamente y forma una capa delgada en los tubos. En este caso la solución nutritiva es el agua residual acuícola. En esta técnica son necesarios un reservorio con agua nutritiva para alimentar a las plantas, una bomba y que los tubos estén horadados para colocar las plantas. Una vez que se colocan las plantas dentro del agujero de los tubos las raíces de las plantas deben estar en contacto con esta agua nutritiva. La ventaja de los NFT es que su costo inicial es bajo al igual que su consumo de agua; sin embargo, presenta los menores rendimientos por lo que es la técnica menos utilizada en el mercado (Yep y Zheng, 2019).

2.3.2. Cama flotante

También conocida como técnica de raíz flotante (Deep water culture- DWC), mantiene a las plantas flotando en poliestireno con sus raíces sumergidas en solución nutritiva estacionaria. Esta técnica es la más sencilla y tiene el mayor rendimiento de biomasa vegetal. Además, tiene un impacto ambiental menor que otras técnicas hidropónicas. Una desventaja de la DWC es que se necesita añadir solución nutritiva constantemente para mantener los niveles de nutrientes óptimos. Esta adición requiere

mediciones constantes de las variables del agua para evitar daño a las plantas por acumulación de nutrientes que no se absorbieron en el agua (Yep y Zheng, 2019).

2.3.3. Cultivo con medio inerte

El cultivo con medio inerte o sustrato inerte se utiliza para dar sostén a las plantas mientras son regadas con el agua rica en nutrientes. Esta técnica hidropónica es la más utilizada. La primera ventaja es que el medio inerte proporciona mayor estabilidad a las raíces de las plantas; principalmente a aquellas especies que son voluminosas como los árboles frutales. Otra ventaja es que el medio proporciona mayor superficie para que los microorganismos benéficos transformen los nutrientes del agua para las plantas. Esta técnica es utilizada en pequeña escalas y rara vez se usa para escalas comerciales (Yep y Zheng, 2019).

2.3.4. Flujo y reflujo y riego por goteo.

La técnica flujo y reflujo consiste en inundar charolas hasta un nivel establecido, una vez que se llega a este nivel el agua cae por un drenaje. Después el agua regresa al reservorio y vuelve a subir a la charola con la ayuda de una bomba sumergible (Knaus y Palm, 2017b). Las plantas se pueden colocar en bolsas o macetas horadadas. La ventaja de la técnica de flujo y reflujo es que se pueden cultivar especies vegetales cuyas raíces son sensibles a encharcamientos. Otra ventaja es que los árboles y arbustos pueden ser sostenidos y crecer dentro de las camas de cultivos si se ocupa la cantidad de medio adecuada. Estos arbustos se pueden colocar en macetas horadadas del tamaño que necesite la planta y ponerse encima de la charola inundada. La desventaja de este sistema es que las charolas, macetas y bombas pueden representar una inversión alta. El riego por goteo, como su nombre indica, nutre las plantas poco a poco. La ventaja del riego por goteo es el ahorro sustancial de agua que se usa. Sin embargo, la inversión inicial puede elevarse dependiendo de la dimensión del sistema. Además, las mangueras por donde pasa el agua, se pueden tapar con el tiempo por lo que se requiere mantenimiento constante.

2.4. Complejidad

Ahora abordaremos que tan complejos o simples pueden ser los sistemas acuapónicos. Dependiendo de cuántos

elementos o unidades extra se le añaden al sistema (fig. 3) se puede generar complejidad en el manejo y monitoreo de los sistemas. En los sistemas acuapónicos acoplados (secc. 2.5.1) se tiene una recirculación completa del agua residual, la cual pasa por las plantas, las riega y regresa con menos nutrientes al estanque acuícola. En los

sistemas acuapónicos desacoplados (secc. 2.5.2) el agua residual pasa a las plantas para regarlas, pero no regresa de nuevo al estanque acuícola. Los sistemas desacoplados recirculan el agua en cada una de sus unidades y solo se pasa una cantidad determinada a las plantas de tiempo en tiempo generando así dos ciclos en el agua.

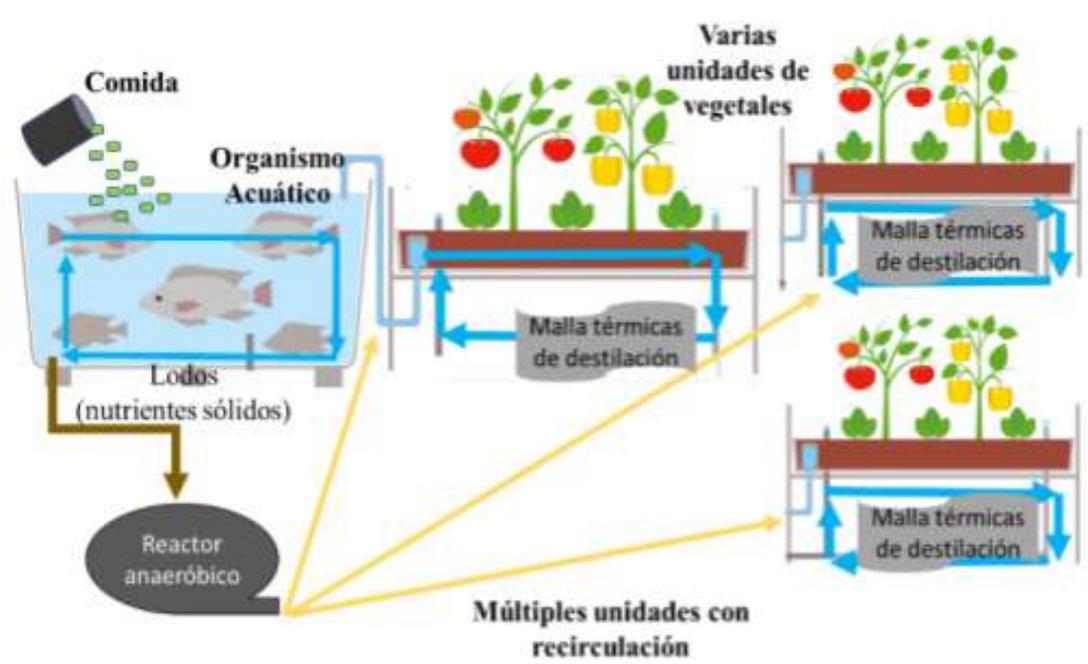


Figura 3. Diagrama de sistema acuapónico desacoplado y multi-ciclo. Las flechas azules muestran la recirculación del agua individualmente

De igual manera, los lodos producidos en el estanque acuícola pueden dirigirse hacia otras unidades generando un ciclo. Cada unidad extra que se añada resuelve algún problema con respecto a los sólidos disueltos en el agua, los lodos generados en el agua, los nutrientes acumulados que no se absorben por las plantas o la presencia de microorganismos patógenos para los cultivos. Con la adición de cada una de las unidades se hace más eficiente el sistema y se mantiene la calidad apropiada en el agua para los peces y las plantas. Aunque cada unidad tiene un propósito y beneficio definidos, es necesario sopesar su uso dentro del sistema, pues su desventaja es que cada unidad aumenta costos. Además, cada una tiene ciertas variables que se deben regular, por lo que el manejo del sistema se complica (Goddek y Joyce, 2019). Las unidades que se pueden añadir a los sistemas acuapónicos son:

Digestores aeróbicos (en presencia de oxígeno) y anaeróbicos (sin presencia de oxígeno)- transforman los nutrientes que se encuentran en los lodos del estanque haciéndolos disponibles para las plantas (Monsees y Keitel, 2017b).

Bioreactores- principalmente para recuperar el fósforo e incorporarlo en el cultivo vegetal. Los bioreactores también se pueden dividir en dos etapas con dos condiciones diferentes.

La primera etapa es para producir gas metano (metanogénesis); esto se logra con un pH alrededor de 7. El metano que se obtiene se puede incorporar como energía al sistema. La segunda etapa se encarga de transformar los lodos remanentes y hacerlos disponibles para las plantas. Esta etapa se lleva a cabo de una manera más eficiente en pH cercanos a 4.

Separadores gravitacionales- su función es la filtración

de sólidos del agua para concentrar los lodos antes de entrar al bioreactor.

Malla de destilación- el objetivo es mantener la concentración de nutrientes del estanque de peces y de los vegetales en los respectivos niveles deseados (Goddek y Keesman, 2018c).

Osmosis Inversa y equipos para desinfección- permite recuperar nutrientes en forma de sales, sin afectar la integridad de las bacterias benéficas para la transformación normal de los lodos (Goddek y Keesman, 2020). Los equipos de desinfección se ocupan para eliminar los microorganismos en el agua que puedan afectar negativamente a las especies que se cultivan. P. ej. radiación UV, tratamientos térmicos y de ozono (Maucieri y Nicoletto, 2019).

2.5. Manejo del Agua

En el último lugar de la clasificación se encuentra el punto del manejo del agua. Este punto considera las dos formas actuales de recircular el agua en el sistema acuapónico sin considerar el tipo de unidad hidropónica que se añada. A continuación, se describen ambas formas de recirculación:

2.5.1. Sistema acuapónico acoplado

Los sistemas acuapónicos acoplados (AQT) se refieren a los sistemas acuapónicos tradicionales. En estos sistemas, como hemos mencionado, el agua recircula continuamente y sin restricción, del estanque de los peces a las plantas (fig. 4). Una vez que el agua pasa por las plantas, estas por medio de sus raíces absorben algunos nutrientes para su crecimiento. Los nutrientes que no fueron absorbidos, junto con el remanente de agua, regresa nuevamente al estanque de peces en ciclos indefinidos. Durante las 4 décadas pasadas, se trató de hacer más eficiente la recirculación del agua y al mismo tiempo generar menos desechos. Durante este tiempo, también se observó que recircular libremente el agua de los peces hacia las plantas genera un equilibrio en el pH. Este proceso es desfavorable para el rendimiento, ya que no permite que cada unidad (peces y plantas) tengan su pH apropiado. Las plantas requieren un pH de 5.5 - 6.0; los peces un pH de 7.0 - 8.0. Además, los microorganismos que transforman los desechos de los peces hacia formas químicas asimilables por las plantas requieren un pH de 7.0 - 9.0 (Tyson y Simonne, 2008).

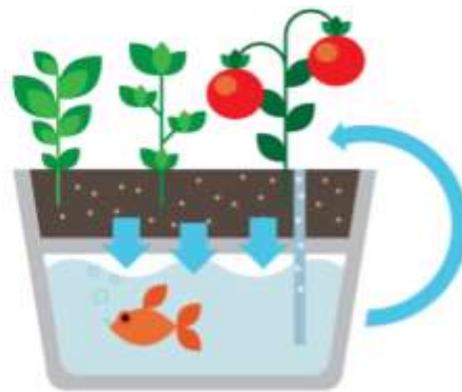


Figura 4. Esquema general de la recirculación del agua en un sistema acuapónico tradicional o acoplado

2.5.2. Sistema acuapónico desacoplado

Teniendo como base el equilibrio en el pH de los AQT debido a la recirculación libre en el 2015 se hizo una modificación con respecto a este punto. La modificación consistió en que el agua que regaba a las plantas no se regresaba al estanque de peces sino recirculaba solamente en la unidad de las plantas. A los sistemas que recircularan de esta manera el agua se les nombró sistemas acuapónicos desacoplados (AQD) (Kloas y Groß, 2015). De esta forma, cada ciclo del agua por separado en cada unidad de producción mantiene el pH adecuado. Esta separación de unidades también permite un mejor manejo del oxígeno disuelto. También permite que los fertilizantes que se requiera añadir a las plantas no estén en contacto con los peces. Así es posible que las plantas aprovechen mejor los nutrientes que se encuentran en el agua residual aumentando el rendimiento tanto para los peces como para las plantas.

Los AQD son los sistemas sofisticados entre los acuapónicos y producen igual o mayor que los AQT y los sistemas hidropónicos puros. Los AQD también ahorran significativamente los nutrientes del agua residual acuícola además que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (Monsees y col., 2019). Pese a estos datos favorables, los AQD tienen como desventaja el costo de inversión. Los AQD requieren al menos 3 unidades para que se lleve a cabo una producción rentable y alto monitoreo de sus unidades. Esta es la razón por la que no se recomiendan usar en escalas pequeñas (Goddek y Espinal, 2016). Por lo anterior, hoy en día estos sistemas sólo se utilizan a escala semi-comercial y comercial.

3. Perspectivas de los sistemas acuapónicos y su aplicación en México

Cada vez son más los países (Omán, Algeria, Egipto, entre otros) que se suman a usar sistemas acuapónicos y aprovechan sus beneficios (FAO, 2018). México por su parte, se ha comprometido por medio de sociedades internacionales en cumplir algunas de las 17 metas de desarrollo sostenible (Government, 2018). No obstante, en México se cuenta con pocos sistemas de producción sostenible como los sistemas acuapónicos. México es un país donde se produce principalmente en sistemas ejidales. La mayoría de los propietarios tienen 5 ha o menos de terreno (Bank y col., 2015); por lo que las escalas pequeñas y semi-comerciales de sistemas acuapónicos podrían establecerse. Por la parte de sistemas acuícolas, México no cuenta con un padrón actualizado (COPESCAAALC, 2019). Sin embargo, es uno de los principales productores acuícolas y el octavo productor de alimentos del mundo. Si la producción acuícola se modifica hacia la acuaponía se podría obtener diversificación de alimentos y un aumento en las ganancias de los productores. Ya que la información nacional es limitada, se necesita que más número de productores tanto acuícolas como agrícolas mexicanos se sumen a este tipo de prácticas sostenibles. Además, se requiere que cada productor lleve registro de datos en su producción de manera cabal. Esto podrá colaborar en la generación de un banco de datos nacional donde se compruebe la rentabilidad, eficiencia y sostenibilidad de los sistemas acuapónicos. Solo entonces, estas prácticas podrán aumentarse y propagarse en todo el territorio nacional no por datos internacionales sino con base en datos nacionales verídicos.

Conclusiones

Se considera que la acuaponía es la mejor alternativa para cultivar debido a su versatilidad, eficiencia y generación económica. Los sistemas acuapónicos permiten un cultivo integral de plantas y peces; de esta manera se obtiene diversidad de alimento de manera sostenible aminorando la huella de contaminación medioambiental. A la fecha no existe un sistema acuapónico definido como el mejor. El sistema que más ajuste a cada productor dependerá de la imaginación del mismo. Sólo se requiere una asesoría

inicial para poder establecer sistemas acuapónicos en diversos entornos mexicanos (casas, oficinas, zonas-urbanas y peri-urbanas).

A la fecha existe la necesidad de cuidar los recursos naturales de planeta y evitar la escasez de agua en el mundo. Cada persona que se sume a aplicar esta manera de cultivar contribuirá a lograrlo. Cada uno de nosotros podemos ayudar a recuperar la capacidad biológica de regeneración del planeta. No hay nada más satisfactorio que comer lo que nuestras propias manos cultivaron y los sistemas acuapónicos nos puedes ayudar a lograr este gusto. Esperamos que muchos lectores puedan iniciar su aprendizaje con esta información. También esperamos escuchar pronto sobre nuevas combinaciones de especies en sistemas acuapónicos mexicanos y que todos sean casos de éxito. El alimento producido por acuaponía en las casas mexicanas será el más rico y saludable para nuestro planeta.

Referencias bibliográficas

- Al-Kodmany, K. (2020). *The Vertical Farm: Exploring Applications for Peri-urban Areas*. Smart Village Technology, Springer: 203-232.
- Antigua, I. (2016). "Climate Smart Agriculture in the Eastern Caribbean States: Increasing agricultural productivity through the application of innovative technology to overcome drought and unpredictable climate conditions in Barbuda."
- Australia, E. (2015). "Growing Massive Fruit Trees in Aquaponics." from <http://www.ecofilms.com.au/growing-massive-fruit-trees-in-aquaponics/>.
- Bank, W., CIAT and CATIE (2015). *Climate-Smart Agriculture in Mexico*. C. C. P. f. L. A. Series. Washington D.C., The World Bank Group.
- COPESCAAALC (2019). *Panorama de la pesca continental y la acuicultura en América latina y el Caribe*. C. d. P. C. y. A. p. A. L. y. e. C. C. e. c. c. l. FAO. La Habana, Cuba, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Decimosexta Reunión.
- FAO (2018). Cada gota cuenta, <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1113809/>. 2020.
- FAO. (2018). "Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta." from <http://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>.

- GFN (2020). Global Footprint Network "Advancing the science of sustainability": Earth Overshoot Day. annual.
- Goddek, S., C. Espinal, B. Delaide, M. Jijakli, Z. Schmautz, S. Wuertz and K. Keesman (2016). "Navigating towards decoupled aquaponic systems: A system dynamics design approach." *Water* 8(7): 303.
- Goddek, S., A. Joyce, S. Wuertz, O. Körner, I. Bläser, M. Reuter and K. J. Keesman (2019). *Decoupled Aquaponics Systems*. Aquaponics Food Production Systems, Springer: 201-229.
- Goddek, S. and K. J. Keesman (2018c). "The necessity of desalination technology for designing and sizing multi-loop aquaponics systems." *Desalination* 428: 76-85.
- Goddek, S. and K. J. Keesman (2020). "Improving nutrient and water use efficiencies in multi-loop aquaponics systems." *Aquaculture International*: 1-10.
- Gooley, G. and F. Gavine (2003). *Integrated agri-aquaculture systems: a resource handbook for Australian industry development*, Rural Industries Research and Development Corporation.
- Government, M. F. (2018). *Voluntary National review for the high-level political forum on sustainable development: Basis for a Long-Term Sustainable Development Vision in Mexico*. S. o. t. N. C. f. t. A. f. S. D. Secretary of Foreign Affairs.
- Hu, Z., J. W. Lee, K. Chandran, S. Kim, A. C. Brotto and S. K. Khanal (2015). "Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics." *Bioresource technology* 188: 92-98.
- Hughey, T. (2005). "Aquaponics for developing countries." *Aquaponics Journal* 38: 16-18.
- Kloas, W., R. Groß, D. Baganz, J. Graupner, H. Monsees, U. Schmidt, G. Staaks, J. Suhl, M. Tschirner and B. Wittstock (2015). "A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts." *Aquaculture Environment Interactions* 7(2): 179-192.
- Knaus, U. and H. Palm (2017b). "Effects of fish biology on ebb and flow aquaponical cultured herbs in northern Germany [Mecklenburg Western Pomerania]." *Aquaculture* 466: 51-63.
- König, B., R. Junge, A. Bittsanszky, M. Villarroel and T. Kórmíves (2016). "On the sustainability of aquaponics." *Ecocycles* 2(1): 26-32.
- Kotzen, B., M. G. C. Emerenciano, N. Moheimani and G. M. Burnell (2019). *Aquaponics: alternative types and approaches*. Aquaponics Food Production Systems, Springer, Cham: 301-330.
- Lara, J., L. Falfán and A. Villa (2012). *Huella ecológica, datos y rostros*, México DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Lobillo-Eguíbar, J., V. M. Fernández-Cabanás, L. A. Bermejo and L. Pérez-Urrestarazu (2020). "Economic Sustainability of Small-Scale Aquaponic Systems for Food Self-Production." *Agronomy* 10(10): 1468.
- Lozano, D., N. Ruiz and P. Gavilán (2016). "Consumptive water use and irrigation performance of strawberries." *Agricultural Water Management* 169: 44-51.
- Mateo-Sagasta, J., S. M. Zadeh and H. Turrall (2018). "More people, more food, worse water?: a global review of water pollution from agriculture."
- Maucieri, C., C. Nicoletto, E. Van Os, D. Anseeuw, R. Van Havermaet and R. Junge (2019). *Hydroponic technologies*. Aquaponics Food Production Systems, Springer: 77-110.
- Monsees, H., J. Keitel, M. Paul, W. Kloas and S. Wuertz (2017b). "Potential of aquacultural sludge treatment for aquaponics: evaluation of nutrient mobilization under aerobic and anaerobic conditions." *Aquaculture Environment Interactions* 9: 9-18.
- Monsees, H., J. Suhl, M. Paul, W. Kloas, D. Dannehl and S. Würtz (2019). "Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer." *PloS one* 14(6): e0218368.
- Oniga, C.-C., Ş. Jurcoane, D. Mocuta and A. T. Rahoveanu (2018). "Studies about the fish farming development in aquaponic systems: a review." *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies* 22: 237-246.
- Palm, H. W., U. Knaus, S. Appelbaum, S. Goddek, S. M. Strauch, T. Vermeulen, M. H. Jijakli and B. Kotzen (2018b). "Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature." *Aquaculture international* 26(3): 813-842.

- Palm, H. W., U. Knaus, B. Wasenitz, A. Bischoff and S. Strauch (2018a). "Proportional up scaling of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) commercial recirculating aquaculture systems disproportionately affects nutrient dynamics." *Aquaculture* 491: 155-168.
- Rakocy, J., R. Shultz, D. Bailey and E. Thoman (2003). Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC 648.
- Somerville, C., M. Cohen, E. Pantanella, A. Stankus and A. Lovatelli (2014). "Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming." FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper(589): I.
- Tyson, R., E. Simonne, D. Treadwell, J. White and A. Simonne (2008). "Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters." *HortScience* 43(3): 719-724.
- Yang, T. and H.-J. Kim (2020). "Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems." *Journal of Cleaner Production* 274: 122619.
- Yep, B. and Y. Zheng (2019). "Aquaponic trends and challenges-A review." *Journal of Cleaner Production*.





APROXIMACIÓN A UN MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

APPROACH TO A THEORETICAL REFERENCE FRAMEWORK FOR TECHNOLOGICAL CHANGE

Escott-Mota María del Pilar ^{1*}, Palacios-Bustamante Rafael ²

Aspectos interesantes

La celeridad en el desarrollo de la ciencia y tecnología han propiciado la pertinencia e importancia de estudiar el cambio tecnológico.

Se identifican los principales enfoques, vigencia y tendencia del cambio tecnológico en el contexto actual.

Si bien existe diversidad en los enfoques teóricos para el estudio del cambio tecnológico se evidencia una prevalencia del enfoque de Schumpeter (1961) y la economía evolutiva lo cual sugiere un campo de estudio con cabida para más contribuciones que puedan describir y explicar la dinámica de estos cambios.

Otro hallazgo importante es la propuesta Kurzweil (2012) que discrepa de las contribuciones schumpeterinas, neoclásicas y evolucionistas al sugerir una dinámica del cambio tecnológico exponencial; muy probablemente este elemento será pieza fundamental en la nueva dinámica del cambio tecnológico contemporáneo.

Resumen

La celeridad en el desarrollo de la ciencia y tecnología han propiciado la pertinencia e importancia de estudiar el cambio tecnológico, por lo cual el propósito de este artículo es realizar una revisión de la literatura de los principales enfoques teóricos del cambio tecnológico. A través de aplicar la orientación metodológica MAGG se identifican los principales enfoques, vigencia y tendencia en el contexto actual donde se evidencia una prevalencia del enfoque de Schumpeter (1961) y la economía evolutiva

lo cual sugiere un campo de estudio con cabida para más contribuciones, así como la propuesta Kurzweil (2005) que discrepa de las contribuciones schumpeterinas, neoclásicas y evolucionistas al sugerir una dinámica del cambio tecnológico exponencial.

Palabras clave: cambio tecnológico, escuela evolutiva, escuela neoclásica, marxismo, schumpeter y singularidad tecnológica.

Abstract

The speed in the development of science and technology has led to the relevance and importance of studying technological change, for which reason the purpose of this article is to carry out a literature review of the main theoretical approaches to technological change. By applying the MAGG methodological orientation, the main approaches, validity and trend in the current context are identified, where a prevalence of Schumpeter's (1961) approach and evolutionary economics is evidenced, which suggests a field of study with room for more contributions. as well as the Kurzweil (2005) proposal that disagrees with the schumpeterine, neoclassical, and evolutionary contributions by suggesting a dynamic of exponential technological change.

Keywords: evolutionary school, marxism, neoclassical school, schumpeter, technological change and technological singularity.

1. Introducción

El inicio de una nueva era sin precedente, enfocada en un desarrollo tecnológico que ha impactado en los diferentes ámbitos: sociales, laborales, económicos, educativos, ecológicos, entre otros, fue lo que trajo el Siglo XX (Stiglitz, 2003, 1990 y Tezanos, 2001). Partiendo de Pérez (2010) algo que ha caracterizado el desarrollo tecnológico es el cambio técnico, el cual se ha evidenciado en las grandes transformaciones tecnológicas que ha vivido la sociedad, por ejemplo, el paso de la revolución industrial a la máquina de vapor, de la era del petróleo a la era informática y de telecomunicaciones.

El cambio tecnológico involucra nuevas formas de organizarse, implica innovar, dejar viejas prácticas que permitan adaptarse a los nuevos requerimientos del entorno, de aquí la pertinencia e importancia de su estudio (Dosi, 1982). En este sentido este trabajo tiene como objetivo hacer una revisión de la literatura de los principales enfoques teóricos que han abordado el cambio tecnológico como Marx (1975), Schumpeter (1939), la escuela neoclásica, evolutiva y más recientemente desde la visión de la singularidad tecnológica propuesta por Kurzweil (2005, 2004) contribuyendo con una aproximación a un marco de referencia teórica del cambio tecnológico.

El artículo está dividido en tres apartados, el primero da cuenta de manera individual de cada enfoque teórico, exponiendo las consideraciones generales que se tienen respecto al cambio tecnológico, así como las convergencias y divergencias que guarda un enfoque respecto a los otros. El segundo apartado detalla la metodología utilizada en el proceso de revisión del estado del arte. Finalmente, el tercer apartado presenta consideraciones finales sobre la vigencia de los enfoques teóricos.

2. Marco Teórico

2.1 Marx

La concepción de Marx en torno al cambio tecnológico se enmarca dentro de una perspectiva endógena; en la cual el desarrollo e innovación de las fuerzas productivas presentan un carácter cualitativo (Katz, 1996, 2014). En torno a ello, innovar es directamente proporcional a la fuerza social del trabajo, en el cual el sistema capitalista ofrece una visión dominante de la producción desarrollada (Katz, 1996, 2014).

El marxismo visualiza entonces las transformaciones tecnológicas sobre elementos de acumulación internos que permiten innovar hacia nuevos esquemas; sin embargo, no deja de lado el materialismo hacia la construcción de una nueva sociedad basada en los cambios tecnológicos desde la perspectiva de la “teoría de la regulación” (Boyer, 1985). En tal sentido, en la concepción marxista su autor se muestra como un precursor del cambio tecnológico desde lo endógeno hacia espacios innovadores (Rosenberg, 1980, 1984).

El autor de *El Capital* es considerado dentro del neo-shumpeterianismo como generador de aportes relacionados con la revolución tecnológica, los ciclos y la innovación (Freeman et al., 1985). En efecto, el marxismo incorpora elementos relacionados con la fuerza de la sociedad y el rechazo a un sistema capitalista donde solo unos pocos tienen acceso a los beneficios, para ofrecer una visión global en la cual la mayoría encuentre sus propias formas de producción.

Dentro de la ideología marxista, se destaca Kondratieff (1926) quien se interesó en efectuar un análisis a las crisis del capitalismo, insistiendo en un enfoque menos innovador que el de Marx (Valenduc, 2018). Además, Rosenberg (2011) explica como el proceso de auto-transformación evolutivo endógeno, lleva a un desenvolvimiento capaz de propiciar la destrucción creativa de ideas como forma en la cual las organizaciones avanzan.

La postura marxista muestra en el capitalismo la insistencia de destruir ininterrumpidamente lo antiguo para generar aspectos novedosos dentro de las estructuras económicas de las sociedades (Marx, 1975, 2013). Sin embargo, para Marx la visión del cambio tecnológico era positiva, pues consideraba que gracias a ello el capitalismo impulsaba las fuerzas productivas de la humanidad (Jiménez-Barrera, 2018).

En el marxismo el cambio tecnológico es considerado para el análisis del cambio social en relación a la dinámica económica, especialmente desde la perspectiva de las fuerzas productivas y las relaciones de producción (Rosenberg, 1980). En efecto, Marx (1975) muestra la adopción de cambios tecnológicos en los capitalistas, con el propósito de obtener beneficios a través de la disminución de los precios, reducción de costes, adopción de otras formas de producción e incluso a través del impulso a la productividad con cambios técnicos.

2.2 Schumpeter

Se atribuye a Schumpeter [1939, 1967] las primeras concepciones de cambio tecnológico en sus obras: *The Theory of Economic Development* y *Business Cycles* respectivamente, donde hace referencia al proceso innovativo como una unidad modular interna – endógena – que propicia el desarrollo capitalista estimulado por el actuar de un agente emprendedor [Cantner, 2016].

Se precisa resaltar dos aspectos medulares del pensamiento de Schumpeter [1939]: la economía capitalista, dinámica e inestable y la innovación como componente que promueve el dinamismo en la economía. A partir de allí, la modificación de las ideas o búsqueda de nuevos elementos se refiere a la actividad de innovar dentro de una economía de mercado donde las tecnologías novedosas generan modificaciones y reemplazan a las tecnologías actuales [Schumpeter, 1939]. Hablar de innovar es introducir un nuevo producto o servicio al mercado, un nuevo método en los procesos de producción para un determinado sector, en el cual los cambios tecnológicos son capaces de mostrar formas inéditas para competir [Schumpeter, 1939]. En este sentido cada innovación podría representar el surgimiento de un nuevo conjunto de empresas o tecnologías y la expiración de otras [Schumpeter, 1967].

El segundo aspecto implica que la inestabilidad y el surgimiento de ciclos económicos son generados por la innovación [Schumpeter, 1967]. A razón de esto Schumpeter [1967] refiere que los cambios tecnológicos pueden llevar a una revolución continua en la estructura de la economía de forma interna, demoliendo lo antiguo para dar paso a lo nuevo, como elemento esencial del capitalismo. Los cambios tecnológicos refieren un carácter dinámico del sistema productivo y es puesto en práctica a través de elementos que de forma endógena pueden llevar a la transformación industrial [Schumpeter, 1967]. La propuesta teórica de Schumpeter [1967] pende del surgimiento de la innovación, lo cual provoca una alteración del curso normal de la economía. En tal sentido, los cambios tecnológicos son implementados en la medida en que los emprendedores muestren actitudes innovadoras para ello [Schumpeter, 1967].

En el Schumpeterianismo, se visualiza la existencia de una relación causa-efecto en torno a los cambios tecnológicos y las ondas largas – conformadas

por fases: recuperación, prosperidad, depresión y recesión – en las cuales, a través del tejido productivo, suceden cambios importantes sobre la forma en que se producen bienes, además de servicios capaces de propiciar una recuperación económica [Valenduc, 2018].

La sinergia surgida a través de múltiples interacciones, llevan a la transición de las empresas en las cuales la innovación está presente como forma de cambio y recuperación organizacional; en torno a ello, los cambios tecnológicos refieren un comportamiento dinámico a largo plazo que muestra una postura esencialmente exógena capaz de influir en la innovación desde lo económico [Rincón y Añez, 2016].

Dentro de la concepción de los cambios tecnológicos, es interesante analizar la afinidad entre el modelo de Marx y Schumpeter quien, aunque no se declara marxista tiene cierta cercanía al mismo [Marx, 1975]. Sin embargo, Schumpeter subraya la importancia de la acción creadora de los emprendedores dentro de las organizaciones, capaces de originar mayor productividad y con ello el crecimiento de las mismas [Schumpeter, 1967].

Por el contrario, el marxismo tiene una concepción más impersonal en la cual el capitalismo muestra a los empresarios como una personificación del capital [Schumpeter, 1967]. Para Schumpeter [1967] la utilización de la figura del empresario contribuye a visualizar la heterogeneidad de estos actores dentro de las organizaciones, convirtiéndose en fuente de novedad donde la tecnología muestra una influencia fundamental [Cantner, 2016].

Schumpeter [1967] apoya la concepción cíclica del desarrollo capitalista, donde la innovación promueve la competencia, aceptación de riesgos e impulso empresarial en el marco del emprendimiento organizacional; mientras que Marx [1975] refiere la tecnología como un fenómeno social manejado por las relaciones de producción dominantes y determinado por la forma en que se desarrolla el modelo capitalista.

2.3 Enfoque Neoclásico

Desde su aproximación neoclásica el cambio tecnológico es considerado como una variable exógena a razón de que no emerge a consecuencia de invertir en investigación y desarrollo por parte de las empresas o

por la determinación del agente investigador (Jiménez-Barrera, 2018). En tal sentido, para el enfoque neoclásico la contribución de la tecnología es nula por lo cual sus efectos están prácticamente ausentes (Jiménez-Barrera, 2018).

Los principales representantes de esta teoría, Abramovitz (1956), Solow (1956, 1957), Swan (1956) y Kendrick (1956) coinciden en una visión exógena de los cambios tecnológicos en la cual éstos no se incorporan al factor capital o el trabajo (Katz, 1996). Una de las características típicas del modelo neoclásico es que el crecimiento de las organizaciones es agotado en la medida en que aparecen rendimientos marginales decrecientes en el factor marginal (Ballesteros, Bethencourt, Marrero y Perera, 2011).

En torno a esta temática, Ballesteros et al. (2011) refieren que en el neoclasicismo: *“La función de producción utiliza dos factores productivos: trabajo, representado por la población de la economía, y el capital, cuya acumulación proviene de la asignación de unidades del bien final a actividades productivas”* (p.5). En tal sentido, es un paradigma en el cual los cambios tecnológicos precisan una visión global exógena de las organizaciones.

El paradigma neoclásico considera los cambios tecnológicos desde una perspectiva exógena; sin embargo, a mediados de los años 50 se logró analizar que esta visión había subestimando el rol que tiene la tecnología en la sociedad, minimizando las oportunidades de crecimiento organizacional a partir de la conformación de cambios capaces de dinamizar las fuerzas productivas (Rincón y Añez, 2016).

En efecto, hoy día se visualiza mayor interés por los cambios tecnológicos como forma de crecimiento en las organizaciones, pues tiene efectos desde perspectivas económicas, sociales y culturales. Reconocer la complejidad de la tecnología y la conformación de cambios continuos requiere de la colaboración interdisciplinar capaz de generar una visión integral de las organizaciones (Uranga, Padrón, y De La Puerta, 1992).

A partir de allí, se evidencia el contraste entre la teoría de Schumpeter (1967) y este enfoque neoclásico, en la cual la innovación es un determinante de la dinámica capitalista (Uranga et al., 1992 y Schumpeter, 1967). En tal sentido, el enfoque neoclásico muestra los cambios

tecnológicos desde la visión global, externa, que poco ayuda a la eliminación de obstáculos (Jiménez-Barrera, 2017). Este modelo considera que el crecimiento equilibrado a través del tiempo, *“depende de la tasa natural y de la tasa exógena del progreso técnico”* (Doimeadiós, 2007:15).

La corriente neoclásica resalta lo expuesto por Solow (1957:312) quien menciona *“las mejoras de la educación de la fuerza de trabajo (...) aparecerán como cambio técnico”*. En tal sentido, los promotores del enfoque neoclásico de las competencias, muestran una postura distanciada e incluso estática en el proceso innovador, considerando más importante la formación e inversión en el capital humano (Jiménez-Barrera, 2018). Esta situación contribuye a que la productividad se visualice de forma decreciente (Jiménez-Barrera, 2018).

2.4 Enfoque Evolutivo

El estudio contemporáneo del cambio tecnológico propone una teoría evolutiva cuyos precursores fueron Richard Nelson y Sydney Winter (1982). Además de ello, otros investigadores como Giovanni Dosi (1982), Nathan Rosenberg (1982), Luc Soete (1984), Keith Pavitt (1984), Christopher Freeman (1987), Bengt-Åke Lundvall (1992), Daniele Archibugi y Mario Pianta (1996), Carlota Pérez (2003) y muy recientemente Mariana Mazzucato (2013).

El enfoque evolutivo toma en cuenta los aportes de Schumpeter (1967) sobre el cambio tecnológico en el cual los mecanismos de variación y selección influyen notablemente en la innovación desde el punto de vista de la tecnología, evidenciando el progreso a lo largo del tiempo (Arrow, 1994). En este contexto, Brian (1994) explica la importancia de la competencia a través de mecanismos de selección que contribuyen a que las organizaciones puedan crecer y prosperar, adaptándose a los cambios tecnológicos.

Esta corriente también denominada corriente neo-schumpeteriana ha enfocado su investigación en dar una explicación del cambio tecnológico, a través de sus regularidades y evoluciones (Perez, 2003). Por lo tanto, suman esfuerzos a estudiar las peculiaridades y comportamiento de la innovación a partir de los cambios técnicos individuales, transitando por los clústeres, sistemas tecnológicos, llegando a las revoluciones tecnológicas (Perez, 2003). Del mismo modo han introducido conceptos como sistemas de

innovación y trayectorias tecnológicas (Perez, 2003 y Arena y Lazaric, 2003).

Dentro del comportamiento de la economía, aparecen los denominados ciclos económicos dentro del sistema financieros en el cual autores como Kondratieff (1926) analizan la conformación de ondas largas o ciclos que se forman incorporando aspectos de las finanzas en las organizaciones (Aguirre, 2017). Por otra parte, Minsky (1986) y Kindleberger (1989) han estudiado las particularidades entre los ciclos de movimiento rápido - auge-frenesí - y su declive cuando sucede (Aguirre, 2017).

En torno a este contexto, surgen los ciclos de onda larga como resultado de la resistencia a diversas transformaciones, especialmente si están enmarcadas en cambios tecnológicos como núcleo transformacional (Tapias, 1996). En tal sentido, lo que se quiere es hallar la máxima eficiencia en torno a una práctica organizacional que sea productiva en los diversos ámbitos. A continuación se evidencia, en la Tabla 1, los ciclos de ondas largas: y económico tanto su manejo como su almacenamiento y transporte, en comparación con la biomasa en su estado original.

Tabla 1. Ciclo ondas largas. Periodo de instalación y despliegue de cada oleada de desarrollo.

Gran oleada	Revolución tecno País núcleo	Instalación Irrupción	Frenesí	Reacomodo	Despliegue Sinergia	Madurez
1ra	Revolución industrial. Inglaterra	1771 (setentas e inicio de ochentas)	Fines ochentas inicio noventas	1793 - 1797	1798 - 1812	1813 - 1829
2da	Máquina de vapor y ferrocarriles(E-USA)	1829 (treintas)	Década cuarentas	1848 - 1850	1850 - 1857	1857 - 1873
3ra	Acero ing. Pesada USA-Alemania	1875 - 1884	1884 - 1893	1893 - 1895	1895 - 1907	1908 - 1918
4ta	Petróleo, automóvil, prod. en masa (USA)	1908 - 1920*	1920 - 1929	1929 - 1933 1929 - 1943	1943 - 1959	1960 - 1974
5ta	Informática y telecomunicaciones (USA a Europa y Asia)	1971 - 1987*	1987 - 2001	2001 - ??	20 - ??	

CiFuente. Pérez (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. Cambridge Journal of Economics, Vol. 34, No.1,

Las ondas largas aparecen sucesivamente a lo largo del tiempo y en las diferentes revoluciones tecnológicas acontecidas (Perez, 2010). Tapias (1996) expresa en torno a esto que: *“La onda larga más reciente comenzó con la gran depresión de 1929 y su último período o colapso se inicia aproximadamente en 1975”* (p.53). A su vez, dentro del enfoque evolutivo, Mandel (1995) menciona que los estudios de ondas largas surgen dentro de periodos históricos diferenciados, especialmente desde una perspectiva cualitativa en el cual se evidencia una metodología monopólica e incluso tardía del capitalismo (Tapias, 1996).

En efecto, Mandel (1995) refiere un capitalismo tardío en el cual la innovación tecnológica y sus ganancias lo caracterizan, por ello considera *“la reducción del tiempo de rotación del capital fijo es otra consecuencia de la celeridad del cambio tecnológico”* (Jiménez-Barrera, 2018:185). Tal como se evidencia, los cambios tecnológicos influyen notablemente en las organizaciones, su estructura, aplicaciones y nivel de producción alcanzado.

Las ondas largas partiendo de Rosenberg y Frischtak (1984) surgen a lo largo de periodos hasta que ocurran cambios evidenciados claramente; es por

ello que, cuando se habla de una economía fuerte, se precisa la conformación de este tipo de ondas con las cuales se brinda estabilidad y crecimiento a la sociedad. En torno a lo señalado, Rosenberg y Frischak (1984) explican: "las condiciones que deben ser satisfechas para que la innovación tecnológica pueda generar ondas largas en el crecimiento económico..."

Otro de los autores que establece aportes en cuanto a las perspectivas de cambio tecnológico es Schumpeter (1967) y sus ondas largas, para quien las crisis organizacionales rompen con el capital empresarial, generando rentas tecnológicas en sectores industriales avanzados cuya productividad se genera por encima de la media de trabajo determinando el valor de las mercancías (Aguirre, 2017). Por ello, la renta tecnológica es capaz de aumentar la tasa media de ganancia.

Por su parte, la contribución de Schumpeter (1967) refiere la definición de un equilibrio estacionario, así como el desequilibrio en el cual los ciclos económicos aparecen, posterior a un choque tecnológico determinado (Tobón, 2009); la cual contrasta con el pensamiento neoclásico en el cual una empresa es visualizada como una entidad técnica en la cual se transforman los factores por productos - inputs por outputs - en aras de maximizar la eficiencia económica organizacional (Gallego, 2003).

La crítica al enfoque neoclásico parte del hecho de que busca imponer una simetría perfecta entre trabajo y capital, sin encontrar un soporte real; en ella el trabajo es medido en términos físicos con una correspondiente remuneración (Pasinetti, 2000). El capital a su vez también se expresa en términos físicos; sin embargo, la remuneración no es concordante con la teoría de la distribución de la renta por lo cual depende del beneficio empresarial (Pasinetti, 2000).

2.4 Ley de Rendimientos Acelerados

Se trata de una teoría propuesta por Kurzweil (2005) en los años noventa, en la cual expone la razón del porque la tecnología y los procesos evolutivos generalmente prosperan exponencialmente. De esta idea subyace la noción de singularidad tecnológica,

el ritmo del cambio tecnológico está en constante aceleración y sus capacidades se están expandiendo a un ritmo que aumenta también cada vez más rápido impidiendo hacer proyecciones tecnológicas (Kurzweil, 2005).

Uno de los aspectos referidos por Kurzweil (2004) es que los cambios tecnológicos y con ello el mayor rendimiento de la computación se han suscitado desde por lo menos más de cien años. Por ello, el autor insiste en que la tasa de crecimiento exponencial se mantendrá y que la singularidad está cerca (Kurzweil, 2005). La ley de rendimiento acelerado se basa entonces en la sucesión de eventos continuos capaces de modificar la realidad vivenciada por los seres humanos.

Además, Kurzweil (2004) explica la existencia de un patrón de crecimiento exponencial en los circuitos semiconductores integrados. Por ello, en el avance tecnológico cuando se encuentran barreras, surgen cambios tecnológicos para cruzarlas y modificar la realidad, avanzando a nuevos esquemas dentro del tejido de la historia humana (Orbe, 2011).

Uno de los aspectos interesantes referidos por Kurzweil es que la ley de rendimiento acelerado implica la ocurrencia de una singularidad tecnológica antes de que culmine el siglo actual (Orbe, 2011). Al analizar la postura del autor, se evidencia que la singularidad es sinónimo de cambios trascendentales, capaces de modificar estructuras mentales, influir en los entornos socioculturales e incluso desarrollar un tramado de nuevos saberes que sienten las bases de un futuro muy distinto al conocido.

3. Metodología

Para realizar la revisión de la literatura se elige aplicar la orientación metodológica MAGG de Marquina, Alvarez, Guevara y Guevara (2013), la cual plantea cuatro componentes - búsqueda de la literatura, exploración de la literatura, desarrollo del argumento y crítica de la literatura - permitiendo sólidamente desarrollar una revisión de la literatura. En la tabla 2 se describe como fue aplicada la metodología Marquina, Alvarez, Guevara y Guevara (2013) para esta investigación.

Tabla 2. Aplicación de la metodología Marquina, Alvarez, Guevara y Guevara (2013)

Componente	Búsqueda de la literatura	Exploración de la literatura	Desarrollo del argumento	Crítica de la literatura
Aplicación	Se establece el objeto de estudio: Cambio tecnológico Se recolecta la literatura a través de motores de búsqueda de bases de datos de revistas científicas partiendo de las principales teorías y sus principales exponentes teóricos del cambio tecnológico.	-Concluida la búsqueda de la literatura, se comienza a estudiar la evolución que presenta el tema del cambio tecnológico en años recientes.	-Se clasifican autores con base en sus enfoques teóricos y sus visiones sobre el cambio tecnológico con el objetivo de tener información ordenada de sus argumentos.	-Se elabora una contrastación teórica en donde se comparan los conceptos claves de diferentes autores que han desarrollado el tema del cambio tecnológico desde diferentes enfoques.

Fuente: Elaboración propia a partir de Marquina, Alvarez, Guevara y Guevara (2013).

Resultados y Consideraciones Finales

La revisión de la literatura llevada a cabo en este trabajo da cuenta de diferentes perspectivas teóricas del cambio tecnológico existentes para su estudio. Se inició con el enfoque de Marxista donde el cambio tecnológico es sugerido como secuela y no origen del proceso social y económico evidenciando contrariedad a través de el aumento por socializar la ciencia y tecnología, relacionar la eficiencia científica con patentes y la perene privatización. Para Marx la llegada de nuevas tecnologías estaba relacionada con la explotación.

Para la perspectiva neoclásica el cambio tecnológico es considerado como una variable exógena dado que no resulta de un proceso de I+D de las empresas, sin embargo, tampoco había claridad de donde si surgía. Por otro lado, Schumpeter (1961) aborda el cambio tecnológico a través la destrucción creativa; acción comprendida como innovar en una economía de mercado en el que novedosas tecnologías destruyen antiguas tecnologías y sus arquetipos provocado un cambio tecnológico.

Los precursores de Schumpeter (1961), los

economistas evolutivos estudian la variación en el desarrollo económico conducida por el cambio tecnológico al análisis de las tecnologías en sí mismas: sus interrelaciones, sus patrones de difusión e impacto en la dirección de la innovación; cómo conducen a transformaciones en la organización de empresas e instituciones; la forma en que influyen en el empleo y la vida social; cómo cambian y son cambiados por la estructura de los mercados; y, finalmente, sobre cómo la acción del gobierno influye en su impacto en la economía y ecología.

Si bien existe diversidad en los enfoques teóricos para el estudio del cambio tecnológico se evidencia una prevalencia del enfoque de Schumpeter (1961) y la economía evolutiva lo cual sugiere un campo de estudio con cabida para más contribuciones que puedan describir y explicar la dinámica de estos cambios. Otro hallazgo importante es la propuesta Kurzweil (2012) que discrepa de las contribuciones schumpeterinas, neoclásicas y evolucionistas al sugerir una dinámica del cambio tecnológico exponencial; muy probablemente este elemento será pieza fundamental en la nueva dinámica del cambio tecnológico contemporáneo.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre, T. (2017). Ciclo largo y sistema financiero: Crisis, contracción del crédito y ganancia. *Revista Ola Financiera*. Vol. 10 [No. 28]. Recuperado de: www.olafinanciera.unam.mx. Abramovitz, M. (1956), "Resource and output Trends in the United States since 1870", *American Economic Review Papers and Proceedings*, vol. 46, May.
- Arena, R. & Lazaric, N. (2003). La théorie évolutionniste du changement économique de Nelson et Winter. Une analyse économique rétrospective, *Revue économique*, Presses de Sciences-Po, vol. 54(2), pages 329-354.
- Archibugi, D., & Planta, M. (1996). Measuring technological change through patents and innovation surveys. *Technovation*, 16(9), 451-519.
- Arrow, K. (1994). Methodological individualism and social knowledge. *American Economic Review*. 84(2): 1-9
- Ballesteros, J., Bethencourt, C., Marrero, G., y Perera, F. (2011). Tema 1. Los Modelos de tasa de ahorro exógenas. El modelo de Solow. España, Universidad de la Laguna: Departamento de Análisis Químico. Recuperado: https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/2595/mod_resource/content/0/Tema1_Solow_MacroIII_ULL_2011_12.pdf
- Boyer, R. (1985). Marx, la técnica y la dinámica de la acumulación. *Cuadernos Políticos*, n 43, México.
- Cantner, U. (2016). Fundamentos de cambio económico - un enfoque schumpeteriano extendido. *J Evol Econ* (2016) 26: 701 - 736 DOI: 10.1007/s00191-016-0479-z
- Doimeadiós, Y. (2007), El crecimiento económico en Cuba: Un análisis desde la productividad total de los factores, Tesis doctoral, Facultad de Economía, Universidad de La Habana.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research policy*, 11(3), 147-162.
- Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*, Londres, Pinter Publishers.
- Gallego, J. (2003). El cambio tecnológico y la economía neoclásica. *Dyna*, 70(138), 67-78.
- Jiménez-Barrera, Y. (2018). Aproximación crítica a las principales teorías sobre el cambio tecnológico. *Revista Problemas del Desarrollo*, 193 [49]. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/prode/v49n193/0301-7036-prode-49-193-171.pdf>
- Katz, C. (1996). La concepción marxista del cambio tecnológico. *Revista Buenos Aires. Pensamiento Económico*, n 1, pag 155-180, Buenos Aires, Argentina. Consultado: 29-11-2018. Recuperado de: <https://katz.lahaine.org/la-concepcion-marxista-del-cambio-tecnologico/>
- Katz, C. (2014). Discusiones marxistas sobre tecnología. *Razón y Revolución*, [3].
- Kendrick, J. W. (1956), "Productivity Trends: Capital and Labor", *Review of Economics and Statistics*, vol. 38.
- Kindleberger, C. P. (1989). The German economy, 1945-1947: Charles P. Kindleberger's letters from the field. Meckler.
- Kondratieff, N.D. (1926). Die langen Wellen der Konjunktur, *Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik*, 56; English version: The Long Waves in Economic Life, *Review of Economic Statistics*, 1935, 17, [reprinted in: *Lloyds Bank Review*, No. 129, July 1978].
- Kurzweil, R. (2004). The law of accelerating returns. In Alan Turing: Life and legacy of a great thinker (pp. 381-416). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kurzweil, R. (2005). The singularity is near: When humans transcend biology. Penguin.
- Lundvall, B. A. (1992). National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning.
- Mandel, E. (1995). Long waves of capitalist development: a Marxist interpretation: based on the Marshall lectures given at the University of Cambridge. Verso.
- Marquina, P., Alvarez, C., Guevara, D., & Guevara, R. (2013, 2 de agosto). Revisión de Literatura Esquema. Documento de trabajo con esquema para el desarrollo del Trabajo de Investigación Final-Tesis, modalidad.
- Marx, K. (1975). El capital. Libro 1. Fondo de Cultura Económica. México.

- Marx, K. (2013). El capital: tomo I (Vol. 1). e-artnow.
- Mazzucato, M. (2013b). Financing innovation: creative destruction vs. destructive creation. *Industrial and Corporate Change*, 22(4), 851-867.
- Minsky, H. P. (1986). Stabilizing an unstable economy.
- Nelson, R. R., & Sidney, G. (1982). Winter. 1982. An evolutionary theory of economic change, 929-964.
- Orbe, A. (2011). La Singularidad no está cerca, según Paul Allen. *Revista hipertextual*.
- Pasinetti, L. (2000). Critica della teoria neoclassica della crescita e della distribuzione. *Moneta e credito*, 53(210), 187-232.
- Pavitt, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research policy*, 13(6), 343-373.
- Perez, C. (2003). *Technological revolutions and financial capital*. Edward Elgar Publishing.
- Perez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, Vol. 34, No.1, pp. 185-202
- Rincón, E. y Añez, C. (2016). El empresario como agente innovador del desarrollo económico: la visión de Joseph Alois Schumpeter. *Revista Electrónica de Ciencia y Tecnología del Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo*. Vol. 2 N° 1.
- Rosenberg, N. (1980). Marx y la tecnología. *Monthly Review*, n 8, Barcelona, marzo 1980.
- Rosenberg, N., & Nathan, R. (1982). *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge University Press.
- Rosenberg, N. y Frischtak, C.R. (1984)", *Technological Innovation and Long Waves*", *Cambridge Journal of Economics*, N° 8 p.7-24
- Rosenberg, N. (2011). Was Schumpeter a marxist? *Industrial and corporate change*, vol. 20, núm. 4, pp. 1215-1222.
- Soete, L., & Turner, R. (1984). Technology diffusion and the rate of technical change. *The Economic Journal*, 94(375), 612-623.
- Solow, R. M. (1957), "Technical Change and The Aggregate Production Function", *The Review of Economics and Statistics*, vol. 39, núm. 3, August.
- Solow, R. M. (1962). Technical progress, capital formation, and economic growth. *The American Economic Review*, 52(2), 76-86.
- Schumpeter, J. (1939). *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. Primera Edición, McGrawHill, New York.
- Schumpeter, J. (1967). *Teoría del desenvolvimiento económico*. Cuarta Edición, Fondo de Cultura Económica, México D.F
- Stiglitz, J. (2003). *Los felices 90*. Buenos Aires: Taurus
- Swan, T. W. (1956), "Economic Growth and Capital Accumulation", *Economic Record*, vol. 32, November.
- Tapias, H. (1996). *Dinámica tecnológica*. Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, Colombia. N° 11. Recuperado de: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/325554/20782926>
- Tezanos, J.F. (2001). *La sociedad dividida. Estructuras de clase y desigualdades en las sociedades tecnológicas*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Tobón, A. (2009). Schumpeter y la nueva síntesis neoclásica en macroeconomía. *Perfil de Coyuntura Económica* No. 14, pp. 173-188. Universidad de Antioquia. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/pece/n14/n14a7.pdf>
- Uranga, M. G., Padrón, M. S., & De La Puerta, E. (1992). *El cambio tecnológico hacia el nuevo milenio: Debates y nuevas teorías* (Vol. 4). Icaria Editorial.
- Valenduc, G. (2018) *Technological revolutions and societal transitions*. ETUI aisbl, Bruselas. Recuperado de: <https://www.etui.org/Publications2/Foresight-briefs/Technological-revolutions-and-societal-transitions>. Consultado: 28-11-21018
- Valenduc, G. y Vendramin, P. (2016). *Work in the digital economy: sorting the old from the new*. European trade union institute. Consultado: 3-12-2018. Recuperado de: http://ftu-namur.org/fichiers/Work_in_the_digital_economy-ETUI2016-3-EN.



CULTURA DE PAZ Y MEDIOS ALTERNOS DE SOLUCIÓN DE CONFLICTOS, LA IMPORTANCIA DE SU PRÁCTICA EN EL AULA UNIVERSITARIA. REVISIÓN.

CULTURE OF PEACE AND ALTERNATIVE METHODS OF CONFLICT RESOLUTION, THE IMPORTANCE OF ITS PRACTICE IN THE UNIVERSITY CLASSROOM. REVIEW.

Cruz-Torres Margarita ^{1*}

¹ Facultad de Derecho, UAQ. Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n. Santiago de Querétaro, Qro. México

* Autor de correspondencia, correo: margarita.cruzt@uaq.mx

Aspectos Interesantes

1. Destaca la importancia de la cultura de paz en la formación del estudiante universitario.
2. Se justifica la difusión de los mecanismos alternativos de solución de conflictos.
3. Los resultados muestran la necesidad de espacios de diálogo y encuentro entre las personas.
4. El abordaje de la justicia alternativa se presenta como una nueva forma de resolver los conflictos.
5. La cultura de paz, oportunidad de su estudio de forma transversal y con enfoque interdisciplinario.

Resumen

La cultura de paz y la solución pacífica de conflictos, como parte del Modelo Educativo Universitario, enfatizan la importancia de la educación como estrategia para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El objetivo del proyecto de investigación desarrollado es generar la práctica idónea de medios alternos de solución de conflictos, en un espacio académico adecuado para fortalecer el perfil interdisciplinario del egresado de la Licenciatura en Criminología.

El método deductivo con perspectiva del conflicto desde la teoría, la normatividad y los diagnósticos gubernamentales y de organizaciones civiles empleado, así como técnicas cualitativas y cuantitativas a través de herramientas como la encuesta y el cuestionario, permitieron identificar el conocimiento, habilidades e interés de los estudiantes de la Licenciatura en Criminología en el tema de justicia alternativa.

El análisis del conflicto con una metodología de mapeo permitió la simulación de mediación en los ámbitos escolar, familiar y comunitario, en el Aula de Práctica de Medios Alternos de Solución de Conflictos como

escenario similar a las salas de mediación que en la actualidad funcionan en espacios de justicia alternativa, lo que favorece la formación en competencias y mayores oportunidades de inserción en el ámbito laboral para los estudiantes.

Palabras clave: *Aprendizaje, conflicto, justicia, mediación, paz.*

Abstract

The culture of peace and the peaceful resolution of conflicts, as part of the University Education Model, emphasize the importance of education as a strategy to achieve the Sustainable Development Goals.

The objective of the research project developed is to generate the best practice of alternative means of conflict resolution, in an adequate academic space to strengthen the interdisciplinary profile of the graduate of the degree in Criminology.

The deductive method with a conflict perspective from the theory, norms and government and civil organization diagnostics employed, as well as qualitative and quantitative techniques through tools such as the survey and the questionnaire, made it possible to identify the knowledge, skills and interest of the students of the degree in Criminology in the subject of alternative justice. The analysis of the conflict with a mapping methodology, allowed the simulation of mediation in the school, family and community environments, in the Classroom of Practice of Alternative Means of Conflict Resolution as a scenario similar to the mediation rooms that currently operate in alternative justice spaces, which favors training in skills and greater opportunities for insertion in the workplace for students.

Keywords: Conflict, justice, Learning, mediation, peace.

1. Introducción

La creciente desigualdad social ha favorecido la ruptura de los lazos sociales y el aumento exponencial de los conflictos interpersonales y sociales, producto de diversas formas de violencia, como un fenómeno acerca del cual tenemos intensas vivencias y que hoy es parte de nuestra experiencia cotidiana.

Para hablar de violencia, hoy es necesario abordar la multiplicidad de formas en las que ésta se presenta, lo que implica un estudio de las violencias desde diversos campos del conocimiento.

El Índice de Paz México (Instituto para la Economía y la Paz, 2020) muestra que en 2019 el nivel de paz tuvo un retroceso de 4.3% debido, principalmente a que aumentó 24.3% la tasa de crímenes cometidos por la delincuencia organizada. El impacto económico generado por la violencia en México ascendió a 4.47 billones de pesos, una cifra que equivale a 21.3% del Producto Interno Bruto (PIB) y ocho veces la cantidad que se invierte en salud pública.

México ha emprendido diversas iniciativas para recuperar la confianza en las instituciones de procuración e impartición de justicia desde la reforma constitucional en 2008 en materia de seguridad y justicia, que incorpora al marco normativo un sistema penal acusatorio y la justicia alternativa, lo que derivó en la promulgación de la Ley Nacional del Mecanismos Alternativos de Solución de Controversias en Materia Penal en 2014, así como políticas públicas derivadas del Plan Nacional de Desarrollo vigente en ese momento, como lo fue el Programa Nacional de Prevención Social de la Violencia y la Delincuencia (PRONAPRED) que operó durante los años 2014 a 2018, cuya temática sólo permanece en la Ley General para la Prevención Social de la Violencia y la Delincuencia vigente desde el año 2012.

Uno de los principales objetivos de la referida reforma constitucional de 2008 fue garantizar que los problemas se resuelvan apegados a Derecho, de una forma más rápida y que se repare el daño a las víctimas. Las reformas constitucionales recientes incorporan nuevas formas de justicia alternativa, como lo es la denominada justicia cotidiana y la justicia cívica itinerante, así como los mecanismos de solución de controversias en materias diversas a la penal.

A pesar de la actualización del marco normativo, el tema de los mecanismos alternativos de solución de conflictos, identificados como MASC no han logrado ser socializados lo suficiente para que tenga la efectividad esperada y reducir los niveles de conflictividad, mediante el diálogo que favorece formas pacíficas de resolver los conflictos, como la mediación y la conciliación.

En un análisis sobre las perspectivas y experiencias en los 32 estados del país, en los que se evalúa el sistema de justicia en el contexto nacional, estudios como el del Índice de Estado de Derecho en México 2019, ubica a Querétaro como el quinto Estado mejor evaluado. Los puntajes oscilan entre 0 y 1, donde 1 indica la mayor adherencia al Estado de Derecho. En el apartado 7 de justicia civil se tiene una calificación de 0.38 y en el rubro de mecanismos alternativos de solución de controversias son accesibles, imparciales y expeditos, muestra una calificación de 0.48 (World Justice Project, 2020).

La justicia alternativa es uno de los estribos del sistema de justicia, los mecanismos alternativos de solución de conflictos son utilizados de manera residual en las procuradurías y fiscalías (1.8%), igual que el criterio de oportunidad (0.9%). Además, hay un rezago importante en la resolución de casos en los tribunales, pues solo 2.3% de las causas penales iniciadas fueron concluidas en 2016. Lo anterior refleja que en su estado actual, el sistema de justicia penal en México no está siendo capaz de dar respuesta a las demandas de justicia. No es solo necesario, sino urgente reconocerlo como un problema público prioritario, pues cualquier mecanismo para el proceso de construcción de paz que no incluya el fortalecimiento de las instituciones de justicia como prioridad, no será sostenible en el tiempo. Aún cuando a través de los mecanismos alternativos, tanto víctimas como imputados han manifestado conocer más sobre su proceso, sus derechos y sentirse más representados y satisfechos; en la práctica se continúa apelando a procesos judiciales y medidas punitivas que conllevan a una justicia despersonalizada, costosa y que no contribuye a la resolución de los conflictos (Novoa, 2018).

Es así, que la investigación desarrollada contribuye a fortalecer la línea general del conocimiento de los sistemas de justicia a través de la promoción de la cultura de paz.

2. La cultura de paz en el Modelo Educativo Universitario.

De acuerdo con Bauman (2009) la “cultura” no debía ser una preservación del status quo, sino un agente de cambio, un instrumento de navegación para guiar la evolución social hacia una condición humana universal.

Las culturas son redes cerradas de conversaciones y de coordinaciones recursivas de haceres y emociones (Maturana, 2014).

Diversos instrumentos que integran el sistema universal de protección de derechos humanos, desde la convocatoria que nos hace la Carta de las Naciones Unidas a practicar la tolerancia y convivir en paz como buenos vecinos y la Declaración Universal de Derechos Humanos que considera que la libertad, la justicia y la paz tienen como base el reconocimiento de la dignidad humana y los derechos iguales e inalienables de las personas.

Bajo la premisa de que la formación universitaria debe cimentarse en principios y valores, en el Modelo Educativo Universitario, la inclusión de la sustentabilidad tiene lugar dentro de un proceso de formación transversal que incluye tópicos de equidad de género, equidad educativa, cuidado del medio ambiente, respeto a los derechos humanos, la formación ciudadana y la promoción de una cultura de paz.

Entendida la cultura de paz como una serie de valores, actitudes y comportamientos que rechazan la violencia y previenen los conflictos, que identifican sus causas para solucionar los problemas mediante el diálogo y la negociación entre las personas, los grupos y las naciones (ONU, 1989).

El enfoque pedagógico centrado en el aprendizaje significativo, flexible, multi, inter y transdisciplinario, implica que el currículo no debe ocuparse sólo de impartir conocimientos, metodologías y técnicas, sino que también debe encargarse de transmitir una serie de valores y actitudes que muestran diversas concepciones del mundo, de la vida y del desarrollo social e individual, puesto que universidad cumple con una función social importante, que demanda normas, principios, valores y actitudes éticas (UAQ, 2020).

Una cultura en la que sus miembros dialogan asociativamente permite que las instituciones públicas cumplan con su misión, asimismo facilita la democratización de organizaciones como la familia, la

escuela y la comunidad próxima y por ende el surgimiento de democracias reales, pero sobre todo produce condiciones objetivas para que la familia cumpla con la misión social que tiene encomendada, aconteciendo lo mismo con las instituciones responsables de la socialización secundaria y terciaria (Pesqueira y Ortiz, 2018a).

La Universidad Autónoma de Querétaro acorde a su modelo educativo, como expresión de su compromiso social, ha incorporado, desde 2013, en los programas académicos de la Facultad de Derecho, la asignatura de medios alternos de solución de conflictos, de manera específica en la Licenciatura en Criminología, siendo una materia teórico - práctica, es indispensable contar con un espacio adecuado para la práctica de la mediación y conciliación como estrategias de aprendizaje que fortalezcan el perfil del egresado de las licenciaturas en Criminología y Derecho.

3. La pertinencia de la enseñanza de los medios alternos de solución de conflictos.

La educación tiene la misión de capacitar a cada uno de nosotros, sin excepciones, en desarrollar todos sus talentos y potencial creativo al máximo, incluyendo la responsabilidad de sus propias vidas y el cumplimiento de objetivos personales. Ha de organizarse a través de aprendizajes, uno de ellos, aprender a vivir juntos, para participar y cooperar con los demás en todas las actividades humanas (Delors, 1996).

El modelo educativo universitario promueve el currículo flexible, como una serie estructurada de conocimientos y experiencias que se articulan intencionalmente con la finalidad de producir aprendizajes que se traduzcan en formas de pensar y actuar frente a los problemas concretos de la vida social y la incorporación al trabajo.

Enseñar exige comprender que la educación es una forma de intervención en el mundo, que requiere de libertad y toma consciente de decisiones. Afirma Freire (2004) que es preciso saber que enseñar, no es transferir conocimiento, sino crear las posibilidades para su propia producción o construcción.

Los programas educativos surgen de un contexto histórico-social específico, y es ahí donde es factible comprender las problemáticas que intenta resolver y de

una nueva articulación entre escuela-sociedad.

La pertinencia del aprendizaje basado en problemas (ABP), como estrategia didáctica para la formación de competencias, basada en la comprensión y resolución de problemas contextualizados, los cuales generan interés y retos de aprendizaje en el estudiante, a partir de la aproximación a la realidad objeto de estudio y al ámbito de desempeño, reviste importancia en la educación basada en competencias (García, López y Peña, 2014).

Uno de los desafíos más complejos a los que se enfrentan las universidades del siglo XXI, es sin duda ser motor de cambio social y de ahí surge la necesidad de prevenir e intervenir en los escenarios de las violencias, conocer sus causas e intervenir con éxito para transformar y solucionar los conflictos interpersonales y sociales, por lo que el papel del docente es fundamental para generar un proceso de enseñanza aprendizaje con cambio coyuntural que genere una fuerza positiva, dinámica en la promoción del diálogo para la solución pacífica de los conflictos.

Educar para la paz supone procurar que la comunidad incorpore habilidades que le permitan crear un ambiente propicio para convivir en paz (Ramos, 2004). El aula es el espacio pertinente para propiciar la reflexión y la producción de conocimientos sobre la cultura del diálogo, los derechos humanos y la paz, donde todos los participantes construyan un sistema de escucha activa, con una visión humanista de enseñar, difundir y educar en la paz.

4. La educación para la paz, más que un imperativo normativo.

La reforma constitucional que incorpora la justicia alternativa en México encuentra su propósito en lograr que la justicia sea impartida de manera rápida y eficaz. El poder reformador de la Constitución estimó que los justiciables tuvieran la posibilidad de acceder a los MASC como una opción al proceso jurisdiccional. Es así como el Estado deja de tener el monopolio para dirimir las controversias entre particulares y da cabida a los medios alternos para resolver los conflictos, para que de una forma rápida y de fondo, las partes, con ayuda de terceros imparciales, resuelvan expedita, equitativa y flexiblemente los conflictos. De modo que la importancia

y trascendencia de la citada reforma para elevar a rango constitucional el derecho humano de acceso a los medios alternos de justicia de naturaleza no sólo civil, sino penal y de otras materias, para que los conflictos se resuelvan de manera rápida, ágil, pacífica y eficaz, al ser herramienta para revolucionar el sistema tradicional de justicia (Poder Judicial de la Federación, 2019).

En este contexto, la investigación realizada partió de la hipótesis que los alumnos de la Licenciatura en Criminología identifican los medios alternos de solución de conflictos; sin embargo, se confirmó la necesidad de promoverlos, difundirlos y socializarlos, dado que no se les conoce como forma de justicia alternativa económica, rápida y útil.

Se registró una encuesta a 89 estudiantes de quinto semestre de la Licenciatura en Criminología que cursaron la materia de Medios Alternos de Solución de Conflictos, en dos generaciones, durante 2018 y 2019. El instrumento consistió en diez preguntas dicotómicas, donde el objetivo fue conocer el conocimiento previo de los medios alternos de solución de conflictos.

La encuesta realizada a estudiantes que cursaron la asignatura MASC durante 2018, registraron como resultado que el 100% de los estudiantes tiene conocimiento previo sobre la justicia alternativa y conocen los medios alternos de solución de conflictos: qué es un facilitador, la mediación, la conciliación y los procesos restaurativos. Sin embargo, los porcentajes se reducen al contestar si encuentran beneficios en los MASC en un 97%, sobre la consideración de si la forma alternativa de solucionar los conflictos es económica un 75% y rápida en un 86.37%, respondiendo en un 95.46% que si fueran parte de un conflicto, acudirían a una forma alternativa de solucionar los conflictos.

Para los estudiantes que cursaron la asignatura MASC durante 2019, manifestaron en un 95 % saber qué es la justicia alternativa, en un 100% conocer los medios alternos de solución de conflictos: un facilitador, la mediación; la conciliación y los procesos restaurativos en un 100%. Permaneció la tendencia de la reducción de los porcentajes al contestar los estudiantes si encuentran beneficios en los MASC en un 97%, sobre la consideración si la forma alternativa de solucionar los conflictos es económica y rápida en un 75.55%, respondiendo en un 97.77% que si fueran parte de un conflicto, acudirían a una forma alternativa de solucionarlo.

Los resultados obtenidos muestran que si bien los estudiantes de la Licenciatura en Criminología conocen las bondades de la justicia alternativa así como sus aplicaciones, también se desprende que es necesaria mayor difusión sobre la rapidez y economía de los MASC, detectándose como área de oportunidad crear formas de servicio gratuito de orientación y atención a la población en materia de medios alternos de solución de conflictos. Recientemente el Tercer Tribunal Colegiado en Materia Civil del Primer Circuito, emitió una Tesis Aislada dentro del Amparo Directo 935/2018, en la que estableció que los órganos jurisdiccionales deberán informar a los particulares sobre las características y ventajas de la mediación. Lo anterior, para alcanzar una solución económica, rápida y satisfactoria de sus controversias (Poder Judicial de la Federación, 2019).

Por su parte la exposición de motivos que inspiró, en 2017, la Iniciativa de Ley General de Justicia Cívica Itinerante, señala que la justicia cívica atiende una parte significativa de los conflictos que enfrentan las personas de manera cotidiana, entendida como el conjunto de procedimientos e instrumentos de buen gobierno orientados a fomentar la cultura de la legalidad y a dar solución de forma pronta, transparente y expedita a conflictos comunitarios en la convivencia cotidiana en una comunidad y evitar que los conflictos escalen a conductas delictiva o actos de violencia.

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Seguridad Pública Urbana (ENSU), a junio de 2017 más del 40% de la población de 18 años o más tuvo al menos un conflicto o enfrentamiento en su vida cotidiana durante los últimos tres meses. Se identificó de igual forma que aproximadamente el 50% de estos conflictos escalan a gritos, insultos e incluso violencia física, lo que confirma la pertinencia de la investigación y la necesidad de seguir promoviendo la solución alternativa de los conflictos de una forma pacífica diversa a las formas tradicionales. (INEGI, 2016)

El sistema educativo nacional debe fortalecer su capacidad para egresar estudiantes que posean competencias para resolver problemas; toma de decisiones; encontrar alternativas; desarrollar productivamente su creatividad; relacionarse de forma proactiva con sus pares y la sociedad; identificar retos y oportunidades en entornos altamente competitivos.

5. El perfil de mediador como un facilitador del diálogo.

Para Galtung la paz es “despliegue de la vida”, que se desarrolla en un contexto de desafío permanente y está claro el principio: una teoría de conflictos no sólo debe reconocer si los conflictos son buenos o malos, ésta deberá fundamentalmente ofrecer mecanismos para entenderlos lógicamente, criterios científicos para analizarlos, así como metodologías como la creatividad, empatía y no violencia para transformarlos (Calderón, 2019a)

Una forma creativa de abordar el conflicto es centrarse en la formación del facilitador, para lograr comprender qué es el conflicto y conocer sus componentes, así como desarrollar actitudes y estrategias para transformarlo y resolverlo. Para ello una herramienta útil es el mapeo del conflicto y el análisis de caso.

El mapeo de conflicto es una técnica de análisis que se construye a partir de las siguientes tres preguntas: a) ¿qué hacer ante esta situación de conflicto?, ¿por qué y para qué hacer eso?, c) ¿cuándo conviene hacerlo?, ello permitirá al operador del conflicto dibujar un mapa y establecer un itinerario de la intervención (Conforti, 2016a).

Para Leaderach, el conflicto, al igual que las relaciones humanas, es dinámico, adaptable, cambiante y está formado básicamente por los siguientes tres elementos: a) personas, b) problema, c) proceso. Propone el análisis del impacto y cambios que produce en cuatro niveles a) personal, b) relacional, c) estructural y, d) cultural. Para él, la transformación de conflictos puede visualizarse como un mapa que está formado por tres componentes principales, cada uno de los cuales representa un punto de investigación, desarrollo de estrategias y respuestas al conflicto. Estos son a) la situación actual, b) horizonte de futuro deseado, y c) el desarrollo de procesos de cambio, aspecto, este último, que conecta con los dos anteriores (Conforti, 2016b).

El mapeo de conflictos dota al operador de información precisa y relevante, ello le permitirá comenzar a diseñar su intervención. El conflicto es dinámico, por lo tanto, de acuerdo con las distintas situaciones del conflicto, el operador puede intervenir en tres planos diferentes: a) para prevenir, b) para gestionar, y/o para solucionar.

Otra técnica cualitativa implementada es el análisis del caso a través del triángulo de las violencias de Galtung,

que es útil para analizar a profundidad y de manera holística el conflicto, contemplando la interacción de las violencias cultural, directa y estructural. Su teoría planea que cualquier aspecto de una cultura es susceptible de ser utilizado para legitimar o justificar la violencia directa o estructural. Se compone por el lenguaje, los sistemas económicos, la ciencia, los rituales y diversas prácticas culturales. La violencia estructural la identifica como parte del orden social y queda invisibilizada por la cotidianidad (Calderón, 2019b).

La función del tercero, identificado como facilitador, es propiciar el encuentro y diálogo para que las personas en conflicto logren llegar a un acuerdo, debe contar con una formación interdisciplinaria que permita el desarrollo de habilidades sociales que pondrá en práctica con quienes intervienen en un conflicto, para facilitar, ayudándoles a identificar, reconocer y manejar adecuadamente las emociones a través de la inteligencia emocional.

Llevar la alfabetización emocional a las escuelas, convierte las emociones y la vida social en temas, en sí mismos (Goleman, 2012).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las habilidades para la vida son definidas como aquellas capacidades psicosociales que contribuyen a mantener un estado de bienestar mental y expresarlo a través de un comportamiento adaptativo y positivo en sus interacciones con los demás. (Araus, 2017)

Tanto la mediación como la conciliación, reconocidos como mecanismos alternativos de solución de conflictos, tienen como objetivo que quienes intervienen, en el libre ejercicio de su autonomía, busquen, construyan y propongan opciones de solución a la controversia, con el fin de alcanzar la solución a ésta. Ellos requieren de un facilitador, quien tiene la función de propiciar la comunicación y el entendimiento mutuo entre los intervinientes. La diferencia para la conciliación radica en que el facilitador, además, podrá, sobre la base de criterios objetivos, presentar alternativas de solución diversas.

La vocación es susceptible de cultivarse en las personas a través de un proceso formativo, es decir, por medio de un programa claramente pensado y diseñado para facilitar el camino para quienes han decidido colaborar, como terceros neutrales, a la solución de

conflictos, para lo cual resulta de vital importancia los contenidos académicos requeridos para iniciarse en la práctica del mediador (Góngora, 2009).

Al identificar los MASC como un tema interdisciplinario, que involucra la participación del derecho, la criminología, la psicología, la sociología y la antropología, entre otras disciplinas que complementan el perfil del facilitador, debe destacarse el papel del criminólogo, ante los escenarios de violencia, como el gran desafío para posicionar la función social de esta profesión.

6. El Aula de práctica de medios alternos para la solución de conflictos, como espacio para el diálogo y el encuentro.

La complejidad del derecho y de las relaciones sociales ha hecho necesario pensar en esquemas alternativos a las reglas clásicas de solución de conflictos (Vázquez, 2011).

Se imponen desafíos pedagógicos que contribuyan a la formación integral del alumno, por ello el docente debe asumir el papel de mediador del conocimiento llevado a la práctica, es decir, la enseñanza con un nuevo enfoque de transversalidad de los derechos humanos, la igualdad de género, la cultura de paz y el cuidado del medio ambiente, como parte de los objetivos para el desarrollo sostenible, que se entrelazan.

Los medios alternos de solución de conflictos dan cabida a la democratización familiar, escolar y comunitaria, entre otras, con lo cual se rompen patrones de conducta, estereotipos y concepciones jerárquicas y sus integrantes toman consciencia de que los conflictos abordados a través del diálogo y la tolerancia producen condiciones para relaciones armoniosas (Pesqueira y Ortiz, 2018b).

Es necesario decidir si vamos a educar para el momento presente o para un futuro mejor, un futuro que es preciso anticipar creativamente (Cortina, 2018). Las universidades, como protagonistas y agentes de cambio, son el espacio idóneo para impulsar y reconstruir un tejido social que se sustente en una convivencia más igualitaria, equitativa y democrática, por ello el papel del docente universitario es fundamental como promotor de la construcción social. Para lograr el espacio adecuado, se debe atender a lo que dicen los teóricos respecto a sus cualidades y características para realizar prácticas idóneas en mediación y conciliación.

Uno de los elementos que se consideran importantes para buen desarrollo de los MASC, es la conformación de una sala de mediación. Las experiencias que se comparten recomiendan que sea un espacio tranquilo y cómodo en el que no haya interrupciones y no se realice ninguna otra actividad mientras tiene lugar la mediación. La sala debe tener una mesa, de preferencia redonda, cuatro sillas y una pizarra o rotafolio.

El espacio en el que se desarrolla la mediación es el primer elemento que se debe de atender, Francisco Diez (2014a) considera elemental tres aspectos, a saber, la comodidad en el espacio físico, la comunicación que va desde encuadre y las conversaciones exploratorias, antes de llegar a la fase de acuerdos y la conexión positiva del mediador con las partes y entre ellas.

El espacio adecuado permite a los participantes asumir roles y la relación con las diferentes partes que se ven involucradas dentro del proceso, es decir, “el posicionamiento físico influirá en los posicionamientos que los participantes adopten en la interacción, de la misma manera que lo hacen todos los espacios en las conversaciones cotidianas” (Diez, 2014b). Un espacio circular permite la igualdad y por tanto la energía se mantiene en equilibrio, pese a que se debe iniciar de un punto, por lo que se recomienda el uso de una mesa redonda, lo que permite que las conversaciones fluyan en todas las direcciones. El uso del color puede llegar a influir, tanto en el rendimiento de las personas como en su estabilidad emocional, por lo que se sugieren colores claros y cálidos.

Las herramientas pedagógicas que se trabajan en los MASC tienen como objetivo llegar al fondo del conflicto, donde hay un tema de un reconocimiento personal, saber la causa real del conflicto, de fondo, de raíz. Se plantean reglas para que los participantes se comprometan a cumplir, para que fluya la comunicación, la escucha activa para que puedan entender los intereses del otro, implica regresarles la responsabilidad, si fueron capaces de crear la problemática, pueden construir la solución.

Conclusiones

La formación universitaria debe cimentarse en principios y valores que encuentran sustento en la cultura de paz como característica transversal e integradora del humanismo,

el compromiso social y la sustentabilidad, componentes del Modelo Educativo Universitario. Las habilidades sociales apoyan y facilitan los procesos de convivencia pacífica, el bienestar de las personas, como parte de un desarrollo humano sostenible. El espacio adecuado para el encuentro y el diálogo entre las personas, favorece un ambiente de concordia que permite encontrar sus propias soluciones a los conflictos y concretar acuerdos entre los intervinientes. La justicia alternativa constituye un derecho humano de rango constitucional, como proceso de transformación social, los medios alternos de solución de conflictos son una herramienta útil y eficaz para hacer vigente la cultura de paz.

Agradecimientos

El proyecto formó parte del Fondo de Fortalecimiento para la Investigación (FOFI-2018) financiamiento de la que permitió equipar un Aula de Práctica de Medios Alternos de Solución de Conflictos en la Facultad de Derecho. Por lo que extiendo un profundo agradecimiento a la Universidad Autónoma de Querétaro por consolidar un espacio de para la formación de competencias de sus estudiantes.

Resumen curricular

Doctora en Derecho, Maestra en Derecho Penal y Licenciada en Derecho por la Universidad Autónoma de Querétaro, Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Derecho de la UAQ, Reconocimiento al Perfil Deseable PRODEP. Certificada por la Comisión Evaluadora de Capacidades Técnicas y Ética del Profesionistas del Derecho. Miembro de la Red de Investigadores del Sistema de Justicia Penal SJP Justicia Posible. Líder del Grupo Colegiado Criminalidad, Victimidad y Sistemas de Justicia. Miembro del Colegio de Abogados Penalistas del Estado de Querétaro A.C. Miembro de la Fundación Lationamericana Objetivo 16. Autora de diversos capítulos de libros y artículos de investigación.

Referencias bibliográficas

Araus Manuel. (2017). Educación para la solidaridad, otra mirada hacia la educación: Habilidades para la vida. <https://educacionparalasilididad>.

- com/2017/05/03/10-habilidades-para-la-vida-segun-la-oms/ Consultado 15 Abril 2020.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2020). Cultura de Paz. <https://www.un.org/es/ga/62/plenary/peaceculture/bkg.shtml> Consultado 12 Febrero 2020.
- Bauman, Z. (2009) Comunidad. Traducción de Jesús Albores, 3a edición. España: Siglo XXI.
- Calderon, C.P. (2019) Teoría de los Conflictos de Johan Galtung. Revista de Paz y Conflictos, No. 2. 74-75 España: Universidad de Granada. https://www.ugr.es/~revpaz/tesinas/rpc_n2_2009_dea3.pdf
- Cámara de Diputados del Congreso de la Unión. (2012). Ley General para la Prevención Social de la Violencia y la Delincuencia. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPSVD.pdf> Consultado 24 Febrero 2020.
- Cámara de Diputados del Congreso de la Unión. (2017). Iniciativa de decreto por el que se expide la Ley General de Mecanismos Alternativos de Solución de Controversias. <https://www.gob.mx/justiciacotidiana/documentos/iniciativa-ley-general-de-mecanismos-alternativos-de-solucion-de-controversias> Consultado 23 Mayo 2020.
- Cámara de Diputados del Congreso de la Unión. Iniciativa de la Ley General de Justicia Cívica e Itinerante (2017). <https://www.gob.mx/justiciacotidiana/documentos/iniciativa-ley-general-de-justicia-civica-e-itinerante> Consultado 02 Mayo 2020.
- Conforti F. (2016). *Construcción de Paz*. Diseño de intervención en conflictos. Madrid: Dykinson, S.L.
- Congreso de la Unión. (2017) Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_080520.pdf Consultado 25 Febrero 2020.
- Cortina, A. (2018). *Aporofobia, el rechazo al pobre*. España: Paidós.
- Delors, J. (1996). *Los cuatro pilares de la educación*. En la educación encierra un Tesoro. [pp. 84-103] México: UNESCO.
- Diez, F. (2014). Acerca del espacio y la mediación, Revista de Mediación, Vol. 7, No. 2. 26-35, <https://revistademediacion.com/wp-content/uploads/2014/12/Revista-Mediacion-14-3.pdf>
- Freire, P. (2004) *Pedagogía de la Autonomía*. Sao Pablo: Paz e Terra, S.A.
- García F. J. ed. al. (2014) Conectar los aprendizajes con la vida: México. Instituto de Estudios Superiores en Educación por Competencias S.C.
- Goleman, D. (2012). La inteligencia emocional. Traducción de Elsa Mateo. México: Programas educativos, S.A. de C.V.
- Góngora, R.R. (2009). El proceso formativo de un mediador. En Medios Alternos de Resolución de conflictos con énfasis en mediación (Eds.), [pp. 107-120] México: FUNDAp.
- INEGI (2016) Encuesta Nacional de Seguridad Pública Urbana https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ensu/doc/ensu2016_trim3_presentacion_ejecutiva.pdf. Consultado 20 Abril 2020.
- Instituto para la Economía y la Paz (2020). *Índice de Paz en México*. <https://www.indicedepazmexico.org/> Consultado 28 mayo del 2020.
- Maturana, H.R. (2014). Transformación en la convivencia. Buenos Aires: Editorial Granica.
- Novoa, M. (2018). México Evalúa. <https://www.mexicoevalua.org/podemos-aceptar-una-justicia-sin-castigo/> Consultado 15 Marzo 2020.
- Modelo Educativo Universitario UAQ (2017) <https://planeacion.uaq.mx/index.php/modelo-educativo-universitario> Consultado 10 Febrero 2020.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 1989. Resolución A/52/13. <https://www.un.org/es/ga/62/plenary/peaceculture/bkg.shtml> Consultado 7 Marzo 2020.
- Pesqueira, J. & Oritz A. (2018). Mediación Asociativa y Cambio Social. 3ª. Ed. México: Instituto de Mediación. A.C.
- Poder Judicial de la Federación. (2019) Semanario Judicial de la Federación <https://sjf.scjn.gob.mx/SJFHome/Index.html> Consultado 23 Abril 2020.
- Ramos, M.C. (2004). Un mirar, un decir, un sentir en la mediación educativa. Buenos Aires: Librería Histórica.
- Vázquez, R. (2011). Normas, razones y derechos, México: Trotta.
- World Justice Project (2020) Índice de Estado de Derecho en México. 2019-2020. <https://worldjusticeproject.mx/> Consultado 17 Mayo 2020.



REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE CAFÉ: RUMBO A UNA ECONOMÍA CIRCULAR

REVALUATION OF COFFEE CROP WASTES: TOWARDS A CIRCULAR ECONOMY

Gutiérrez-Antonio Claudia^{*}, Rodríguez-Romero Luis Antonio¹, García-Trejo Juan Fernando¹, Feregrino-Pérez Ana Angélica

¹ Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera a Chichimequillas s/n km 1, 76225, El Marqués, Querétaro.

* Autor de correspondencia, correo:

Resumen

Actualmente, la mayoría de la energía que se emplea en el mundo se genera de la quema de combustibles fósiles, lo cual está ocasionando un impacto negativo al medio ambiente. Adicionalmente, la extracción de dichos combustibles es cada vez menor y más costosa, por lo que es necesario emplear fuentes de energía renovables. Una de estas fuentes es la biomasa, a partir de la cual se puede generar energía, eléctrica y calorífica, así como biocombustibles. En particular, los biocombustibles pueden producirse a partir de la biomasa tanto cultivable como residual, siendo ésta última de gran relevancia porque permite resolver el problema de contaminación que dichos residuos representan. En especial, los residuos del cultivo de café son abundantes, dado que representan dos tercios de la cantidad de café producida. Por ello, en este artículo se presenta el potencial de revalorización de estos residuos, con especial énfasis en su conversión a biocombustibles.

Palabras claves: *residuos de café, revalorización, biocombustibles, productos de valor agregado.*

Abstract

Nowadays, most of the energy used in the world is generated from the burning of fossil fuels, which is causing a negative impact on the environment. Additionally, the extraction of these fuels is becoming less and more expensive, so it is necessary to use renewable energy sources. One of these sources is biomass, from which energy, electrical and heating, as well as biofuels can be generated. In particular, biofuels can be produced from both cultivable and residual biomass, the latter being of great relevance because it allows solving the pollution problem that those residues represent. In particular, residues from coffee cultivation are abundant, accounting for two-thirds of the amount of coffee produced. Therefore, this article presents the potential for revaluation of this waste, with special emphasis on its conversion to biofuels.

Keywords: coffee waste, revaluation, biofuels, value-added products.

1. Introducción

En la actualidad, el aumento acelerado de la población mundial ha ocasionado un incremento en la demanda de los servicios básicos, entre los que se incluyen la alimentación, el transporte, y la infraestructura para tener una vida saludable. Para proveer todos los servicios básicos antes mencionados se requiere energía, la cual se genera, principalmente, mediante combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo); estos combustibles son no renovables, por lo que su producción será menor y más costosa con el paso del tiempo. Cabe mencionar que en 2019 el 81% de la producción mundial de energía se generó a partir de combustibles fósiles, siendo el petróleo la fuente más usada (IEA, 2019). Sin embargo, a fines del 2019 comenzó la caída en la demanda de combustibles fósiles debido a las cuarentenas impuestas por la diseminación del coronavirus SARS-COV2, también conocido como COVID-19. A pesar de ello se espera que se recuperen los niveles de demanda en un par de años. Adicionalmente, el uso intensivo de dichos combustibles fósiles ha ocasionado el problema del cambio climático, que se deriva del incremento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. En este contexto se han impulsado propuestas que permitan la recuperación económica y al mismo tiempo sostenible de los sectores económicos (IEA, 2020). Por lo que uno de los grandes retos en materia energética es encontrar fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles, que sean amigables con el medio ambiente, renovables y competitivas económicamente.

Algunas de las fuentes alternativas que se han estudiado incluyen la radiación solar, el flujo de viento, las corrientes de agua, o el calor del subsuelo, las cuales pueden usarse para generar energía eléctrica y/o calorífica. Otra fuente alternativa es la biomasa, la cual es muy atractiva, ya que permite obtener energía eléctrica, calorífica y/o biocombustibles. En particular, los biocombustibles son aquellos combustibles producidos a partir de la biomasa mediante diferentes procesos de conversión; los biocombustibles se pueden presentar en estado líquido (diésel verde, bioturbosina), sólido (briquetas, pellets) y gaseoso (biogás, hidrógeno renovable). Por otra parte, los biocombustibles se pueden producir de biomasa comestibles (caña de azúcar, sorgo), no comestibles

(*Jatropha*, higuera), residuos (pajas, cascarillas), así como microorganismos (microalgas).

Todas las generaciones de materias primas se pueden emplear para producir cualquier tipo de biocombustible, mediante diferentes procesos de producción y con variados rendimientos. En particular, de las biomasa listadas anteriormente una fuente interesante son los residuos. Los residuos son aquellos materiales que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, y usualmente representan problemas de contaminación por los elevados volúmenes en los que son generados. A diferencia de las biomasa comestibles (primera generación) no compiten con la alimentación humana, ni con tierras de cultivo como los de segunda generación; asimismo, la huella hídrica asociada con su obtención no es tan elevada como en el cultivo de las microalgas. Existen diferentes tipos de residuos, tales como forestales, agrícolas, sólidos municipales y los agroindustriales. En particular, dentro de los residuos agroindustriales se encuentran aquellos derivados del proceso de obtención del grano de café, los cuales son generados en elevados volúmenes debido a que el café como bebida es un producto que se consume en grandes cantidades. Estos residuos representan una merma y un problema de contaminación que impacta severamente a los pequeños y grandes productores; por lo que la revalorización de estos residuos para producción de biocombustibles es una alternativa interesante. Cabe mencionar que algunos de estos biocombustibles podrían ser usados en los procesos de producción del café, ayudando a lograr así su sostenibilidad energética. Por lo tanto, en este artículo se presentará información sobre el cultivo de café, así como los residuos derivados. Posteriormente se presentarán alternativas para la revalorización de los residuos de café, y el potencial estimado para la producción biocombustibles en México a partir de estos residuos.

2. El cultivo de café

El café es una bebida estimulante y aromática ampliamente consumida a nivel mundial. Esta bebida se produce a partir de los granos del café o cafeto, el cual es un importante cultivo de plantación perteneciente a la familia *Rubiaceae*, subfamilia *Cinchonoideae* y

tribu *Coffeae*. El cafeto se origina en las tierras de Abisinial, (actual Etiopía), y su popularidad llegaría tras la introducción de éste en Arabia; en particular, Yemen se convertiría en un importante centro de cultivo y distribución mundial, desde donde, aproximadamente en 1796, llegó a México por la región de Córdoba, Veracruz (Monaco y cols., 1977; Murthy y Naidu, 2012); cabe añadir que, en 1847, café proveniente de Guatemala ingresó a México por Chiapas (González Escalante, 2018). Los cafetos crecen en regiones tropicales, entre el trópico de Cáncer y Capricornio (también conocido como el cinturón de café); estas regiones se caracterizan por tener abundantes precipitaciones, así como una temperatura promedio anual de 21 °C sin heladas. Los cafetos crecen a altitudes que van desde 900 a 1600 metros sobre el nivel del mar, con una humedad ambiente recomendada en el rango de 65 a 90 % (Murthy y cols., 2001).

Una de las partes importantes del árbol de café es su fruto, al cual se le dice cereza, uva o capulín; cuando el fruto madura se torna rojo o amarillo, con dos semillas, Figura 1. La cereza se compone de la pulpa y el café pergamino; la pulpa está formada por el epicarpio, o cáscara, y representa el 46% del fruto, mientras que el café pergamino está constituido por el endocarpio, o pajilla, que constituye el 18-20%. Por otra parte, el mesocarpio, o mucílago miel, corresponde al 17.18%, el espermodermo, o película plateada, representa el 0.2%, mientras que el 17-18% es café verde.

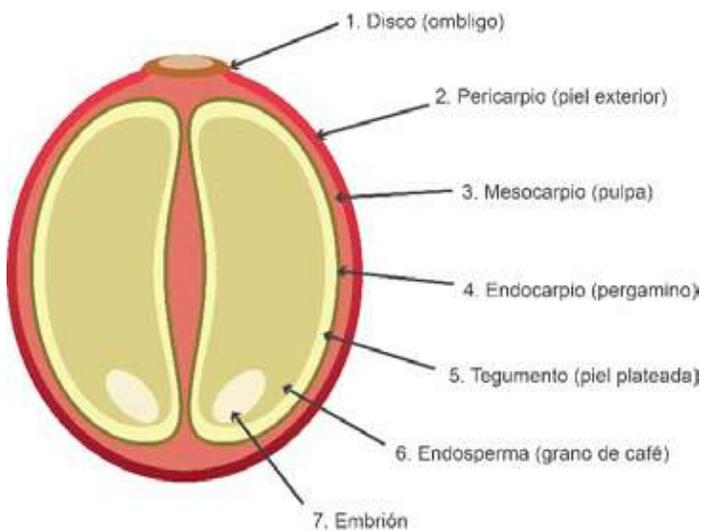


Figura 1. Partes del fruto del café

Por otro lado, las semillas o granos representan del 35.0 al 38.0% del fruto del café, y están constituidas por el endocarpio o pergamino, una película plateada o perisperma, endosperma cotiledón o embrión. El endospermo contiene muchos compuestos, entre los que destacan la cafeína, proteínas, aceites, azúcares, dextrina, celulosa, hemicelulosa, ácido clorogénico y minerales, entre otros. Por su parte, los granos de café contienen agua, minerales, sobre todo fosfatos y sulfatos de calcio, magnesio, potasio y sodio.

Dentro de las especies que se cultivan del café existen dos principales: el café arábica y café robusta, Figura 2.

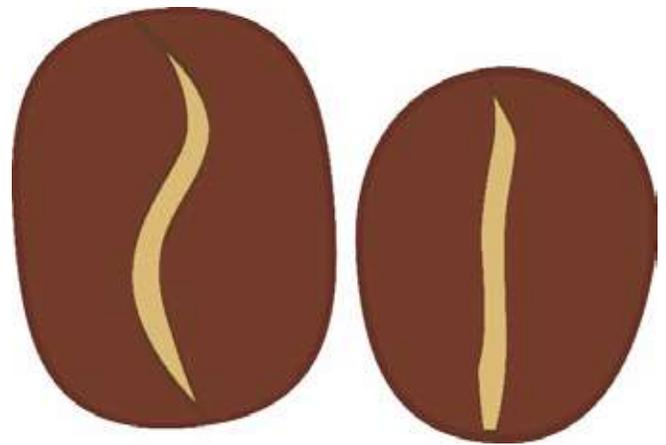


Figura 2. Granos de café arábica (izquierda) y café robusta (derecha)

El café arábica se caracteriza porque sus semillas cuentan con una forma alargada y delgada que aquellas de la especie robusta que son más pequeñas y gruesas. Además, el grano de café arábico contiene de 1.1 a 1.7% de cafeína, mientras que el de robusta contiene de 2 a 4.5% (Murthy y Naidu, 2012). Por otra parte, el sabor de la bebida de café producida de dichas especies tampoco es igual. El café arábico es más dulce y aromático, así como sensiblemente menos amargo y astringente que el experimentado con la especie robusta: la bebida obtenida de esta última es más fuerte y amarga. Por ello, el café proveniente de la especie arábica es considerado muy superior al obtenido de la especie robusta; razón por lo cual, la especie arábica es la más sembrada en todo el mundo, en México representa el 96% de la producción total (SAGARPA, 2017). Así, el cultivo del

café es una de las actividades más importantes dentro de la agricultura mexicana, tanto por el número de productores que intervienen, como por los ingresos derivados de su exportación. De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en 2017 la producción de café empleaba a más de 500,000 productores de 14 entidades federativas y 480 municipios, siendo de los estados líderes Chiapas, Veracruz, Puebla, y Oaxaca. En la actualidad, la producción de café en México es realizada principalmente por pequeños productores, algunos de los cuales han adoptado nuevas prácticas tecnológicas que mejoran tanto sus procesos de producción como de comercialización. No obstante, la generación de subproductos o residuos es inevitable en la mayoría de los sectores industriales, y la industria cafetalera no es la excepción como se describe en la siguiente sección.

3. Los residuos del cultivo de café

En el cultivo de café se generan una gran cantidad de residuos durante el procesamiento de la fruta a la taza, aproximadamente 350 gramos de residuo por cada kilogramo de grano de café; dependiendo del método empleado para la obtención del grano de café, será el tipo de residuo liberado (Esquivel y col., 2012). Los dos métodos básicos para el procesamiento de café son el método húmedo y el método seco. El café procesado por el método húmedo, también se le llama café lavado o café pergamino. Este método consiste en eliminar la pulpa de la fruta que cubre las semillas/granos con una despulpadora antes de que se sequen (Murthy y cols., 2001; Murthy y Naidu, 2012). Por otro lado, el método seco se considera el más antiguo y simple; en este método, los frutos recién cosechados se secan y posteriormente se clasifican y ensacan. Si el procesamiento es realizado en seco, los principales residuos generados son la piel, la pulpa, el mucílago y cascarilla; todos estos residuos se agrupan en una misma fracción llamada cascara o cascabillo de café. Mientras que el procesamiento en húmedo permite la recuperación de la piel y la pulpa en una sola fracción, el mucílago y azúcares solubles en una segunda fracción, y la cascarilla en una tercera fracción. De los varios residuos del procesamiento del café,

la pulpa de café es el que se genera en mayor cantidad [43 % en procesado en húmedo] (Mussatto y cols., 2011). La cascarilla y la pulpa de café comprenden cerca del 45% de la cereza, y son los principales subproductos de la industria del café, Figura 3.

En los países productores de café, los desechos y subproductos constituyen una fuente de contaminación, que ocasiona un grave problema ambiental. En la mayoría de las fincas cafeteras existen unidades de procesamiento de café, en las cuales se realiza una disposición no adecuada de la pulpa, la cascarilla y los efluentes del café; lo anterior origina que se contamine el agua y la tierra alrededor de las unidades de procesamiento. Estos residuos contienen taninos, a



Figura 3. Residuos del cultivo de café

los que se le atribuye la baja biodegradabilidad y que incluso se les ha denominado agentes recalcitrantes; además de ser vistos como reductores de la calidad nutricional.

La pulpa de café es el principal residuo de los cultivos, representa el 29% del peso seco de la fruta entera, y su alto contenido de humedad hace que sea difícil su eliminación. Por otro lado, las cascarillas de la cereza del café representan alrededor del 12% de la fruta entera, y se compone de agua [15.0%], celulosa [24.5%], hemicelulosa [29.7%], lignina [23.7%] y cenizas [6.2%] (Gouvea y cols., 2009; Bekalo y Reinhardt, 2010).

En 2018 se produjeron 10,256,220 toneladas de café verde a nivel mundial, de las cuales cerca del 3 %

fue generado en México (ICO, 2019). Por otra parte, de acuerdo con la SAGARPA, por cada kilogramo de café se producen 350 g de residuos (SAGARPA, 2015). Por lo que, en México se generaron 107, 690.31 ton de residuos de esta industria en 2018. Considerando que los procesos de biodegradación de los residuos de café requieren tiempos muy largos y una gran demanda de oxígeno es claro que su incorporación directa en el ambiente representa un alto riesgo para la flora y fauna de esos ecosistemas. Al respecto, en México muy pocas o ninguna industria controla los residuos generados de la producción del café, y por lo tanto sigue siendo un problema de contaminación (Wong y cols., 2013). Por ello, se requiere de estrategias que posibiliten su revalorización, tópico que se discute en la siguiente sección.

4. Revalorización de los residuos de cultivo de café

La revalorización se define como el proceso mediante el cual los residuos se transforman en nuevos productos que pueden insertarse en el mercado; dichos productos pueden incluir productos de alto valor agregado, productos químicos, productos biotecnológicos, cosmetológicos, así como biocombustibles. Derivado de la revalorización es posible eliminar el residuo que genera el problema de contaminación, y al mismo tiempo mejorar la rentabilidad del proceso por la comercialización de los productos, o en el caso de los energéticos su uso dentro del proceso.

En los residuos del café, la pulpa de café y la cáscara sólo habían sido utilizados como fertilizante, alimento para el ganado, composta, así como adsorbente para la remoción de compuestos tóxicos para la manufactura de ácido giberélico; no obstante, en estas aplicaciones se emplea sólo una pequeña fracción de la cantidad disponible de residuos, ya que no son técnicamente muy eficientes. Por ello es necesario encontrar otros usos para este residuo sólido. A continuación, se presentan algunas alternativas de uso de los residuos y subproductos del café que se han reportado en la literatura.

Una de las alternativas considera la fermentación sólida de la pulpa de café utilizando

el hongo *Aspergillus niger*; como resultado de este proceso se disminuyen significativamente los niveles de polifenoles, fibra y cafeína de la pulpa, y se aumenta en 10% su contenido de proteína. Otra opción es la del ensilaje de la pulpa de café para ser utilizado como alimento de algunos animales de ganado lechero o de granja. Por otra parte, la pulpa puede ser empleada como abono orgánico, debido a su contenido de potasio, fósforo, calcio y otros micro minerales que ayudan al desarrollo de la fertilidad de los suelos. En la actualidad, el abono de la pulpa de café se utiliza en diversas plantaciones, preferentemente en las nuevas plantaciones de café. Recientemente se han realizado estudios sobre el uso de los subproductos del café para la producción de papel. Residuos del café como la piel y el residuo después de la preparación de la infusión son materiales ricos en celulosa y hemicelulosa; estos residuos podrían ser empleados para la producción de diversos tipos de papel (Wong y cols., 2013).

Otra opción es el uso de los residuos del café usado/gastado como adsorbente de bajo costo, y alta disponibilidad, para la eliminación de colorantes catiónicos en los tratamientos de aguas residuales. En 2009, Nakamura y cols. estudiaron la producción de carbones activados a partir del endocarpio del café; esta propuesta contribuye a reducir los residuos en la industria cafetera portuguesa creando un excedente económico.

Las aplicaciones mencionadas hasta ahora son muy interesantes. No obstante, la producción de energía partir de los residuos de café es una alternativa con gran potencial para contribuir a la sostenibilidad energética del sector. Adicionalmente, la producción de biocombustibles a partir de los residuos del café posicionaría a esta industria como cero residuos, y que coadyuva a la solución del problema del cambio climático. A continuación, se comentan algunos de los estudios realizados en esta temática.

En 2009, Machado estudió la producción de bioetanol a partir del café gastado. El café gastado fue sometido al proceso de hidrólisis ácida y el hidrolizado fue fermentado con *Saccharomyces cerevisiae*, obteniendo un rendimiento de 50.1%. Estos resultados confirman los reportados por Gouvea y cols. (2009), quienes indicaron que las cáscaras de café presentan

un excelente potencial para la producción de bioetanol.

Otra alternativa es la producción de bio-aceite y biocarbón a partir de la pirólisis de los residuos de la preparación de café (café gastado también conocido como posos de café); el bio-aceite es una mezcla compleja de compuestos orgánicos que contienen ácidos carboxílicos, ésteres, cetonas, fenoles y aromáticos. Los resultados muestran que el rendimiento del biocarbón se encuentra entre el 25-40 % en peso, y éste posee un valor calorífico de 31.9 MJ/kg (Tsai y cols., 2012). De acuerdo con sus resultados, el valor calorífico del biocarbón preparado a partir de los posos de café se encuentra en el límite superior del carbón (28-32 MJ/Kg) (Li y cols., 2014). Por otra parte, el bio-aceite puede emplearse como materia prima para producir biocombustibles para el sector transporte. Los estudios realizados indican que los rendimientos de bio-aceite a partir de procesos como la pirólisis y licuefacción hidrotérmica van desde 54 hasta 66% (Bok y cols. 2012; Li y cols. 2014; Kelkar y cols. 2015).

También se ha estudiado la extracción de aceite de los granos de café gastados para convertirlo en biodiésel. Usualmente, se logra extraer entre 10-15% de aceite de los granos gastados, dependiendo de la especie de café (Arábica o Robusta), y se obtiene una conversión del 100% en la reacción de transesterificación. Por lo que, se estima que pueden producirse 340 millones de galones de biodiésel a partir de los desechos de café producidos en todo el mundo. Otros autores reportan conversiones menores al 100%, pero aún competitivas, con valores de 85%, 86% y 96% (Kondamudi y cols., 2008; Calixto y cols., 2011; Al-Hamamre y cols., 2012; Vardon y cols., 2013; Caetano y cols., 2013).

Por otro lado, el agua drenada del extracto de la cereza del café es otra fuente potencial para la producción de biogás; el extracto de cereza que se recolecta y calienta, y se convertirá en una masa hirviente de microorganismos de todo tipo que trabajarán en los jugos de la fruta pegajosa desprendidos. Una fermentación apropiada y otros procedimientos permitirán reducir el pH, y el proceso de neutralización posterior da lugar a una espuma de CO₂; la evolución del CO₂ en este punto permite la posterior producción de biogás (Rathanivelu y Graziosi, 2005). El biogás producido puede quemarse para generar electricidad, y todo el calor residual puede utilizarse para secar el

café. Se ha informado del rendimiento del biogás oscila entre 0.500 y 0.598 m³/kg de materia orgánica seca, con una concentración de metano de entre el 55 y el 61% (Neves y cols., 2005; Neves y cols., 2006; Vitez y cols., 2016; Luz y cols., 2017; Giroto y cols., 2018).

Otra alternativa energética son los pellets combustibles, los cuales son biocombustibles densificados de biomasa pulverizada procedente de limpiezas forestales, industrias madereras, residuos agroindustriales y biomasa lignocelulósica. Para elaborar los pellets, los residuos deben ser triturados, y, posteriormente, son secados para finalmente ser prensados en forma de pequeños cilindros. El pellet se utiliza como biocombustible para generar energía eléctrica y/o calorífica de una manera limpia. Actualmente se han realizado estudios para la producción de pellets combustibles a partir de zacate, rastrojo de maíz, heno, residuos de jardinería, así como pajas de diferentes granos como cebada, arroz y de trigo (Pradhan y cols., 2018). Respecto a los residuos de café, se han hecho mezclas de éstos con desechos de madera de eucalipto, lo que ha dado origen a pellets de mayor durabilidad, dureza y densidad de energía neta. No obstante, no se ha estudiado la producción de pellets combustibles a partir de residuos de café, los cuales podrían usarse en el mismo proceso de producción de café, convirtiendo a esta industria en sostenible y de bajo impacto ambiental. Por ello que se requiere más investigación de cómo darle un uso a los desechos o subproductos generados de la industria del café.

5. Potencial de producción de pellets combustibles a partir de residuos de café

Como se mencionó anteriormente, de acuerdo con la Organización Internacional de Café, México en el año 2018 tuvo una producción de 261,060 toneladas de café verde (ICO, 2019); esto equivale a 859,992.30 toneladas de café cereza que se producen en 14 estados del país, en una superficie cosechada de 629,798.88 hectáreas (SIAP, 2019). En la Tabla 1 se muestran las toneladas producidas del cultivo de café cereza por cada estado mexicano; de acuerdo con la SAGARPA por cada kilogramo de café se producen 350 g de residuos (SAGARPA, 2015), por lo que con este coeficiente se pueden estimar los residuos generados a partir de la producción.

Tabla 1. Producción y residuos generados de café cereza en México en 2018

Estado	Superficie cosechada (ha)	Producción (Toneladas)	Residuos (Toneladas)	Participación nacional
Colima	2,675.17	3,255.78	1,139.52	0.38%
Chiapas	231,186.91	354,944.47	124,230.57	41.27%
Edo. México	507.56	526.13	184.15	0.06%
Guerrero	42,388.41	38,771.19	13,569.92	4.51%
Hidalgo	23,226.50	27,747.99	9,711.80	3.23%
Jalisco	3,483.80	4,553.76	1,593.82	0.53%
Morelos	25.70	35.65	12.48	0.004%
Nayarit	6,674.22	1,564.22	547.48	0.182%
Oaxaca	109,863.14	70,454.01	24,658.90	8.19%
Puebla	63,231.80	135,709.50	47,498.33	15.78%
Querétaro	199.00	25.47	8.92	0.003%
San Luis P.	16,783.00	12,218.10	4,276.34	1.421%
Tabasco	357.50	417.50	146.13	0.05%
Veracruz	129,196.17	209,768.53	73,418.99	24.39%
Total	629,798.88	859,992.30	300,997.35	100.00%

Como se observa en la Tabla 1 se genera una gran cantidad de residuos, los cuales se pueden revalorizar para la fabricación de pellets combustibles; dichos pellets se emplean como un biocombustible limpio para generación de energía calorífica y/o eléctrica. De acuerdo con el Atlas Nacional de Biomasa (ANBIO) de la Secretaría de Energía (SENER), se estima que el potencial energético de la biomasa residual industrial (rubro donde consideran a los residuos del café) es de 0.003837 TJ/ton (ANBIO,2013). Por lo que el potencial energético de los residuos se estima en 1155 TJ. Por lo que, los pellets combustibles de residuos de café en México permitirían generar 1,155.00 TJ (320.83 GWh); cabe mencionar que dicha cifra no considera pérdidas en el proceso de producción y que existe la infraestructura necesaria para el traslado de los residuos. De manera particular, en Chiapas, estado donde se concentra la mayor producción de residuos, la producción de pellets representaría el 10.90% de la energía eléctrica necesaria del estado. En Querétaro, que consume anualmente en promedio 4, 816.14 GWh, los pellets representarían un 6.67% de la energía requerida.

Considerado la distribución geográfica de los productores de café, en estados como Oaxaca y Chiapas por ejemplo, es importante señalar que en muchos de los casos no existe la infraestructura necesaria para el traslado de los residuos a los centros de producción. Por ende, se requiere realizar un estudio de la cadena de suministro que considere estos aspectos. No obstante, una solución podría ser el establecimiento de centros de producción de pellets para 3 o 5 comunidades que estén relativamente cercanas; dichos pellets podrían ser usados por los mismos productores para satisfacer las necesidades de energía térmica en sus hogares o inclusive en el proceso de secado de café.

6. Conclusiones

El café es uno de los productos más importantes a nivel mundial, lo cual se ha reflejado en el crecimiento sostenido de su producción global. Derivado de su proceso de producción se generan una gran cantidad de residuos, los cuales pueden revalorizarse para la generación de productos de valor agregado, así como

biocombustibles. En particular, la conversión de estos residuos en biocombustibles permitiría que la industria del café migrara hacia una economía circular con bajo impacto ambiental.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero proporcionado por CONACYT mediante la beca de manutención de L.A. Rodríguez Romero para la realización de sus estudios de posgrado.

Referencias Bibliográficas

- Al-Hamamre, Z., Foerster, S., Hartmann, F., Kröger, M., Kaltschmitt, M. [2012]. Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing. *Fuel* 96:70-76.
- ANBIO. [2013]. Atlas Nacional de Biomasa. Secretaría de Energía. <https://dgel.energia.gob.mx/ANBIO/index.html>
- Bekalo, S. A., Reinhardt, H. W. Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. *Materials and Structures*. [2010]. 43:1049-60.
- Bok, J.P., Choi, H.S., Choi, Y.S., Park, H.C., Kim, S.J. [2012]. Fast pyrolysis of coffee grounds: characteristics of product yields and biocrude oil quality. *Energy*. 47:17-24.
- Caetano, N.S., Silva, V.F.M., Melo, A.C., Mata, T.M. [2013]. Potential of spent coffee grounds for biodiesel production and other applications. *Chemical Engineering Transactions*. 35:1063-1068.
- Calixto, F., Fernandes, J., Couto, R., Hernandez, E.J., Najdanovic-Visaka, V., Simoes, P. C. [2011]. Synthesis of fatty acid methyl esters via direct transesterification with methanol/ carbondioxide mixtures from spent coffee grounds feedstock. *Green Chemical*. 13:1196-1202.
- Esquivel, P., Jiménez, V. M. [2012]. Functional properties of coffee and coffee by products. *Food Research International*. 46:488-495.
- Giroto F., Pivato A., Cossu R., Nkeng G.E., Lavagnolo M.C. [2018]. The broad spectrum of possibilities for spent coffee grounds valorisation. *J Mater Cycles Waste Manage*. 20:695-701.
- González Escalante T. [2018]. Los pequeños productores de café en Chiapas y el desarrollo de capacidades locales a partir del proceso de integración al comercio justo. Tesis de maestría. Tijuana, Baja California, México: El Colegio de la Frontera Norte.
- Gouvea B.M., Torres C., Franca A.S., Oliveira L.S., Oliveira E.S. Feasibility of ethanol production from coffee husks. *Biotechnology Letters*. [2009]. 31:1315-9.
- ICO. [2019]. International Coffee Organization. <http://www.ico.org/>
- IEA. [2020]. Sustainable Recovery, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>
- IEA. International Energy Agency. [2019]. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/oil>
- Kelkar, S., Saffron, C.M., Chai, L., Bovee, J., Stuecken, T.R., Garedew, M., Li, Z., Kriegel, R.M. [2015]. Pyrolysis of spent coffee grounds using a screw-conveyor reactor. *Fuel Process Technology*. 137:170-178.
- Li, X., Strezov, V., Kan, T. [2014]. Energy recovery potential analysis of spent coffee grounds pyrolysis products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 110, 79-87.
- Luz F.C., Cordinera S., Manni A., Mulone V., Rocco V. [2017]. Anaerobic digestion of liquid fraction coffee grounds at laboratory scale: evaluation of the biogas yield. *Energy Procedia*. 105:1096-101.
- Machado, E.S.M. [2009]. Reaprovechamiento de residuos de la industria del café como materia prima para la producción de etanol. Tesis de maestría. Braga, Portugal: Departamento de Ingeniería Biológica, Universidad de Minho.
- Monaco, L.C., Sondahl, M.R., Carvalho, A., Crocomo, O.J., Sharp, W.R. [1977]. Applications of tissue cultures in the improvement of coffee. In: Reinert J, Bajaj YPS, editors. *Applied and fundamental aspects of plant cell tissue and organ culture*. Berlin: Springer-Verlag. p. 109-29.
- Murthy P.S., Basavaraj K., Naidu R. [2001]. Journey of Indian coffee quality. *Journal of Indian Coffee*. 3:18-21.
- Murthy, P. S., Naidu, M. M. [2012]. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition- A review. *Resources, Conservation and Recycling*. 66:45-58.
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., Teixeira,

- J. A. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food Bioprocess Technology*. 4:661-672.
- Nakamura T., Hirata M., Kawasaki N., Tanada S., Tamuro T., Nakahori Y. (2009). Decolorization of indigo carmine by charcoal from extracted residue of coffee beans. *Journal of Environmental Science and Health Part A*. 3:555-62.
- Neves L., Oliveira R., Alves M.M. (2006). Anaerobic co-digestion of coffee waste and sewage sludge. *Waste Manage*. 26(2):176-81.
- Neves L., Ribeiro R., Oliveira R., Alves M.M. (2005). Anaerobic Digestion of Coffee waste in ADSW2005.
- Pradhan, P., Mahajani, S. M., Arora, A. (2018). Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review. *Fuel Processing Technology*. 181:215-232.
- Rathanivelu R., Graziosi, G. (2005). Potential alternative use of coffee waste and by-products. *ICO. Proceedings*, ED 1967/05.
- SAGARPA. (2015). Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: diagnóstico nacional. www.gob.mx/sagarpa
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. *Café Mexicano*. www.gob.mx/sagarpa
- SIA. (2018). Sistema de Información Energética. Secretaría de Energía. <http://sieenergia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&subAction=applyOptions>
- SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Estadística de Producción Agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Tsai, W.-T., Liu, S.-C., Hsieh, C.-H. (2012). Preparation and fuel properties of biochars from the pyrolysis of exhausted coffee residue. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 93:63-67.
- Vardon, D.R., Moser, B.R., Zheng, W., Witkin, K., Evangelista, R.L., Strathmann, T.J., Rajagopalan, K., Sharma, B.K. (2013). Complete utilization of spent Coffee grounds to produce biodiesel, bio-oil, and biochar. *ACS Sustain. Chem. Eng*. 1:1286-1294.
- Vítez T., Koutny T., Sotnar M., Chovanec J. (2016). On the spent coffee grounds biogas production. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 64(4):1279-82.
- Wong Paz, Jorge E.; Guyot, Sylvain; Rodríguez Herrera, Raúl; Gutiérrez Sánchez, Gerardo; Contreras Esquivel, Juan C.; Saucedo Castañeda, Gerardo; Aguilar, Cristóbal N. (2013). Alternativas Actuales para el Manejo Sustentable de los Residuos de la Industria del Café en México. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila. Acta Química Mexicana (AQM)*. Volumen 5, No 10.





EFECTO TÉRMICO DEL BLANQUEADO CULINARIO EN EL PERFIL FENÓLICO DE OCHO DIFERENTES QUELITES PRESENTES EN LA DIETA TRADICIONAL MEXICANA

THERMAL EFFECT OF CULINARY BLEACHING ON THE PHENOLIC PROFILE OF EIGHT DIFFERENT QUELITES PRESENT IN THE TRADITIONAL MEXICAN DIET

Kuri-García Aarón ^{1,2}, Vargas-Madriz Ángel Félix ¹, Mendoza-Juárez Anahí Wendolyne ², Díaz-Díaz Beatriz Eugenia ², Roldán-Padrón Octavio ¹, Chávez-Servín Jorge Luis ^{1*}

¹ Laboratorio de Biología Celular y Molecular, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

² Licenciatura en Gastronomía, Facultad de Filosofía, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

* Autor de correspondencia, correo: jorge.chavez@uaq.mx

Resumen

Se conoce que el consumo de alimentos de origen vegetal es benéfico para la salud. Parte de los componentes con potencial bioactivo que ejercen efectos benéficos son diversos metabolitos de las plantas como los compuestos fenólicos. En México los quelites son usados en la cultura culinaria tradicional. Su preparación depende del tipo de platillo típico en la dieta tradicional mexicana, utilizándose generalmente en crudo o cocidos. El presente trabajo muestra el efecto del blanqueado culinario en el perfil fenólico [compuestos fenólicos totales (CFT), los flavonoides totales (FT) y los taninos condensados (TC)] de ocho diferentes especies de quelites nativas mexicanas. Se encontró en general una disminución en CFT y FT; y un aumento en TC por el blanqueado en todos los quelites analizados. A diferencia del promedio se observó que *Portulaca oleracea* aumentó la concentración de CFT y de FT debido al blanqueado. Se observó que *Porophyllum ruderale* contiene la mayor concentración de CFT y FT; y *Beta vulgaris* de TC de las ocho muestras analizadas en crudo. En general se observó en promedio una mayor concentración de compuesto fenólicos totales que flavonoides totales en las muestras crudas y hervidas. Al conocer los resultados presentados se puede dar recomendaciones al momento de seleccionar el tipo de preparación culinaria de los alimentos, si buscamos beneficios que brindan los compuestos fenólicos.

Palabras claves: Quelites, Perfil Fenólico, Cocina Tradicional, Blanqueado Culinario

Abstract

*It is known that the consumption of foods of plant origin is beneficial for health. Some of the components with bioactive potential that exert beneficial effects are various plant metabolites such as phenolic compounds. In Mexico, quelites are used in traditional culinary culture. Its preparation depends on the type of typical dish in the traditional Mexican diet, generally being used raw or cooked. The present work shows the effect of culinary bleaching on the phenolic profile [total phenolic compounds (CFT), total flavonoids (FT) and condensed tannins (TC)] of eight different species of native Mexican quelites. In general, a decrease was found in CFT and FT; and an increase in TC for the blanched in all the quelites analyzed. Unlike the average, it was observed that *Portulaca oleracea* increased the concentration of CFT and FT due to bleaching. *Porophyllum ruderale* was observed to contain the highest concentration of CFT and FT; and *Beta vulgaris* from TC of the eight samples analyzed in crude oil. In general, a higher concentration of total phenolic compounds than total flavonoids were observed on average in the raw and boiled samples. Knowing the results presented, recommendations can be given when selecting the type of culinary preparation of food, if we are looking for benefits provided by phenolic compounds.*

Key Words: Quelites, Phenolic Profile, Traditional Cuisine, Culinary Bleaching

1. Introducción

Varios estudios han demostrado que el consumo regular de alimentos de origen vegetal (AOV); que contienen componentes fisiológicamente bioactivos, en particular fenoles, es asociado con un menor riesgo de incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles relacionadas al estrés oxidativo (Martínez-González et al., 2019; Valerino-Perea et al., 2019). Se sabe que el consumo de AOV puede representar alternativas en la nutrición humana para mejorar la salud, debido a la presencia de compuestos fitoquímicos que contienen (Santiago-Saenz, López-Palestina, et al., 2020). Se ha propuesto incrementar la diversidad dietética con el consumo de un mayor número de especies vegetales como una estrategia eficaz y sostenible para erradicar los problemas ocasionados por enfermedades crónicas, todo a través del aumento del consumo de plantas comestibles (Santiago-Saenz et al., 2018).

En las comunidades indígenas y rurales de diferentes países, el conocimiento sobre la preparación y el consumo de diversas plantas comestibles se encuentra entre las estrategias de supervivencia y adaptación a las condiciones ambientales y mejoras a la salud humana. En contraste, existen cambios en los patrones alimentarios de las últimas décadas que han desplazado el consumo de AOV por el de alimentos ultraprocesados. Se han realizado esfuerzos para evaluar las dietas tradicionales locales a través de la documentación del uso de plantas alimenticias con distribución local y regional, las cuales son desconocidas a nivel nacional e internacional (Valerino-Perea et al., 2019). Un valor adicional de las dietas tradicionales es el aporte de alimentos que tienen variedad de sabores, colores, aromas y formas de preparación con un bajo número de insumos adicionales. Por ejemplo, los alimentos tradicionales a menudo se consumen frescos (en crudo) o con un procesamiento térmico mínimo, como el blanqueado culinario. El blanqueado es una técnica culinaria que consiste en la cocción de los alimentos en agua hirviendo durante un periodo breve de tiempo (desde 30 seg hasta 5 min) que modifica la composición fisicoquímica de la planta y sus características organolépticas (Mateos-Maces et al., 2020).

Otros autores han observado que la capacidad antioxidante de seis hortalizas, se cocinaron hirviéndolos o al vapor durante 1 minuto o escaldados durante 20 s. Los resultados muestran que la mayor capacidad antioxidante

(DPPH) se observó después de hervir durante 1 min en el caso de la espinaca ($41.9 \pm 9.8\%$), papaya ($59.0 \pm 5.3\%$), kenikir ($54.9\% \pm 6.3\%$), y frijoles de una yarda de largo ($70.2 \pm 8.9\%$); cocer al vapor durante 1 min en el caso de la flor de turi ($60.2 \pm 3.6\%$); y escaldado durante 20 s en el caso de los brotes de frijol *mungo* ($49.2 \pm 3.6\%$) (Tsiompah et al., 2021). Por otro lado, en otro estudio reciente, se probaron diferentes técnicas de cocina caseras (hervir, cocer al vapor, sofreír y microondas) sobre los cambios de compuestos fenólicos específicos y propiedades antioxidantes (FRAP), en las hortalizas de hoja tradicionales consumidas habitualmente en África meridional, en donde se observó que sofreír el aumento la concentración de fenoles en hojas de col china, seguido de cocción al vapor. De manera similar, sofreír aumentó algunos fenoles simples en la solanácea, seguido de la cocción al vapor. Las técnicas de cocción al vapor y salteado aumentaron significativamente la actividad de FRAP; mientras que la ebullición redujo el contenido de taninos tanto en las verduras de hoja (Managa et al., 2020). Los compuestos fenólicos de las plantas se presentan de forma unida covalente; por lo tanto, se deben emplear métodos de procesamiento para liberarlos y potenciar la concentración. Por ejemplo, se ha demostrado que el tratamiento térmico puede liberar algunos compuestos fenólicos de bajo peso molecular y, por lo tanto, aumentar su concentración (Xu et al., 2007).

En México, hasta ahora se han registrado entre 2,168 a 4,000 especies de plantas consumibles en el país, con base en estudios etnobotánicos, pero el análisis proximal y de compuestos bioactivos están disponibles para menos de 30 especies (Mateos-Maces et al., 2020). Estas plantas comestibles se consideran “quelites” y se refieren a tallos jóvenes, retoños o plántulas de plantas comestibles que crecen silvestres o domesticadas. Los quelites han mostrado contenidos importantes de proteínas, nutrimentos inorgánicos y fibra, así como la presencia de ácidos fenólicos, los cuales se han relacionado con capacidad antioxidante y propiedades frente a patologías crónicas no transmisibles (Santiago-Saenz et al., 2018).

Además, es necesario resaltar que la relevancia del presente estudio es que, dado que ya existe información de la caracterización del perfil fenólico de algunos quelites en la literatura, no existe información comparable del efecto

térmico del blanqueado culinario en fenoles, flavonoides y taninos condensados en los quelites usados en la cocina tradicional mexicana, ya que cada reporte se llevó a cabo en diferentes condiciones y se expresan de forma distinta, lo que lo vuelve complicado para hacer comparaciones. Aunado a esto, el presente estudio busca identificar el quelite con el mejor perfil fenólico dependiendo del tipo de preparación para posteriormente buscar efectos en enfermedades crónico no transmisibles como el cáncer de colon como perspectiva del estudio.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto térmico del blanqueado culinario en la concentración de fenoles totales, flavonoides y taninos condensados en los ocho quelites principales de la cocina tradicional mexicana.

2. Materiales y Métodos

2.1 Diseño del estudio

El presente estudio se trata de un diseño transversal y experimental.

2.2 Obtención de la muestra

Se obtuvieron ocho muestras de diferentes hojas de quelites de un mercado tradicional en el centro de la ciudad de Querétaro, México. Los quelites que se utilizaron se describen a continuación: *Chenopodium berlandieri* (huazontle), *Porophyllum ruderale* (pápalo), *Beta vulgaris* (acelga), *Curcubita máxima* (flor de calabaza), *Chenopodium ambrosioides* (epazote), *Raphanus sativus* (hoja de rábano), *Portulaca oleracea* (verdolaga) y *Amaranthus hybridus* (quintonil). Los quelites fueron identificados por un especialista del Herbario Jerzy Rzedowski (Querétaro, MEX). Las muestras se dividieron en dos grupos, muestras crudas y muestras hervidas (blanqueadas). Para las muestras crudas, las hojas se secaron en un horno de aire forzado (Shel lab Fx 1375, North Carolina, USA.) a 40°C por aproximadamente 48 horas, hasta obtener un peso constante obteniendo una materia seca. Para las muestras hervidas, por otro lado, se realizaron de la siguiente manera: la materia seca correspondiente a cada uno de los quelites analizados se agregó en agua hirviendo a 120°C por 2 minutos hasta obtener un cambio de color y de textura, rápidamente se retiraron del agua hirviendo y se agregaron directo

al chorro de agua corriente para detener la reacción térmica. Posterior a ello, las hojas se secaron en un horno de aire forzado (Shel lab Fx 1375, North Carolina, USA.) a 40°C por aproximadamente 48 horas, hasta obtener un peso constante. Para ambos grupos se molió la materia seca en un molino eléctrico con un diámetro de criba de 0.5 mm (Thomas Wiley Model 4 Scientific, New Jersey, USA). El polvo molido se colectó en bolsas oscuras para protegerlas de la luz y temperatura en un ultracongelador (REVCO last II, Ohio, USA) a -80°C para su análisis posterior.

2.3 Preparación de los extractos

Se pesaron 200 mg de materia seca y molida, se extrajeron con 10 ml de agua durante 30 min con ayuda de un ultrasonificador (modelo BRANSON 5510) a 42 kHz +/- 6% a temperatura ambiente en ausencia de luz. Posteriormente el extracto se filtró a través de papel Whatman (0.20 µm), el sobrenadante obtenido se almacenó en frascos color ámbar a -80°C hasta su análisis.

2.4 Determinación de compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos totales se determinaron espectrofotométricamente de acuerdo con el método de Folin-Ciocalteu por triplicado. Se realizó la curva de calibración para fenoles totales utilizando ácido gálico como estándar en las concentraciones (peso/volumen) de 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, y 12 µl. Se tomó una alícuota del extracto (12.5 µl) y se llevó a un volumen de 50 µl de agua destilada. Posteriormente se mezcló con 32 µl del reactivo de Folin-Ciocalteu (1N), se le agregaron 156 µl de NaCO₃ al 20% y se dejó reposar en ausencia de luz durante 2 horas a temperatura ambiente. El control se preparó de manera similar reemplazando la cantidad de muestra con agua destilada. Después de 2 horas se midió la absorbancia de cada una de las muestras en un espectrofotómetro (Thermo, Multiskan Ascent) a una longitud de onda de 750 nm y los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g de materia seca (mg EAG/100 g MS).

2.5 Determinación de flavonoides totales

Los flavonoides totales se determinaron por el método colorimétrico del cloruro de aluminio por triplicado. Se

realizó la curva de calibración utilizando catequina como estándar en las concentraciones [peso/volumen] de 100, 200, 300, 500, 700, 900, 1000 μ l. Se tomó una alícuota del extracto (31.25 μ l) y se añadieron 156 μ l de agua destilada, después se añadieron 9.4 μ l de NaNO₂ al 5% y se dejó reposar durante 6 min, posteriormente se agregó AlCl₃ al 10% y se dejó reposar por 5 min, después se añadió 63 μ l de NaOH (1M); Finalmente se agregó 35 μ l de agua destilada. El control se preparó de manera similar remplazando la cantidad de muestra con agua destilada. La curva y la muestra se leyeron a 510 nm y los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de catequina por 100 g de materia seca (mg EC/100 g MS).

2.6 Determinación de taninos condensados

Los taninos condensados se determinaron por el método de vainillina por triplicado. Se realizó una curva de calibración utilizando catequina como estándar en diferentes concentraciones: 0.2, 0.6, 0.8, 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, y 0.20 μ l. Para la determinación de la muestra se tomó una alícuota del extracto (40 μ l) y se agregó 200 μ l de la solución de vainillina 1% recién preparada y HCl

8% en metanol con relación de 1:1. El control fue metanol sustituyendo la cantidad de la muestra aunado con 200 μ l de la solución de vainillina 1% y HCl 8%. La curva como la muestra se leyeron a una longitud de onda de 492 nm y los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de catequina por 100 g de materia seca (mg EC/100g MS).

2.7 Análisis estadístico

Para las comparaciones entre los grupos crudo y hervido se utilizó la prueba t de student pareada. Para determinar diferencias estadísticas se consideró un valor de $p < 0.05$. El análisis estadístico comparativo se realizó utilizando el programa GraphPad Prism 5[®]. Los resultados se muestran como la media de $n=3$ determinaciones de cada una de las técnicas de los 8 quelites analizados \pm desviación estándar.

3. Resultados y Discusión

Las características botánicas, usos gastronómicos y como nutracéutico de los ocho quelites principales en la cocina tradicional mexicana se desglosan a continuación:

Tabla 1. Características, usos gastronómicos y valor nutracéutico de los ocho quelites presentes en la cocina tradición mexicana.

Nombre popular/ científico	Imagen (crudo / blanqueado)	Características	Principales usos Gastronómicos	Valor nutracéutico	Referencia
Huazontle / <i>Chenopodium berlandieri</i>		La planta mide de 40 cm a 2 m de alto. Su tallo es anguloso y con rayas longitudinales verde claro o amarillento, a veces rojizo. Las hojas son rómbico-ovadas a lanceoladas, enteras o irregularmente dentadas. Sus flores están agrupadas en glomérulos.	Huazontles rellenos de queso Oaxaca en salsa de chile pasilla, tortitas con romeritos, lasaña de huazontle, huazontles capeados.	El consumo de <i>Chenopodium berlandieri</i> mejora los niveles de hemoglobina, malondialdehído urinario y la excreción urinaria de arsénico en adolescentes expuestos al agua contaminada con metaloide.	[Santiago-Saenz, Monroy-Torres, et al., 2020].

<p>Pápalo / <i>Porophyllum guett</i></p>		<p>Son hierbas perennes de olor fuerte con hojas alternas u opuestas, simples, lineares a ovadas, márgenes enteros o gruesamente crenados, variadamente punteadas con glándulas pelúcidas.</p>	<p>Enchiladas, salsas, cremas, guacamole, quesadillas, ensaladas.</p>	<p>Los aceites esenciales de <i>Porophyllum guett</i>, administrado por vía oral, inhibe la inflamación inducida por LPS, incluida la migración celular. También se observó una inhibición significativa de la producción de gamma-interferón e IL-4.</p>	<p>[Souza et al., 2003].</p>
<p>Acelga / <i>Beta vulgaris</i></p>		<p>Es una planta herbácea bienal que alcanza hasta 2 m de alto. Es ramificada y frondosa, de color verde a púrpura-violáceo. Las hojas, generalmente de hasta de 12 x 6 cm, son pecioladas. El fruto es un pixidio dehiscente por un opérculo y con una única semilla.</p>	<p>Sopas, huevo, quiche, humus, albóndigas, canelones.</p>	<p>El extracto de <i>Beta vulgaris</i> mejora la protección antioxidante de las células endoteliales. Actuó sobre las especies reactivas de oxígeno, pero también por la activación de las defensas endógenas de la catalasa y las Superóxido dismutasa I y II.</p>	<p>[da Silva et al., 2020].</p>
<p>Flor de calabaza / <i>Curcubita maxima</i></p>		<p>Es una florescencia con forma de trompeta, con cáliz monosépalo. Posee pétalos de tonos brillantes que varían entre verde amarillo cuando está inmadura a amarillo anaranjado cuando está en su etapa algida de maduración.</p>	<p>Sopas, quesadillas, empanizadas rellenas de queso, dobladas con flor de calabaza, tamales y cremas.</p>	<p>Se agregaron extractos de <i>Curcubita maxima</i> en nanopartículas las cuales proporcionaron una fuerte actividad antimicrobiana contra cepas patógenas. Se probó el efecto de los extractos en las nanopartículas sintetizadas contra la línea celular de cáncer de piel A431 para determinar su toxicidad mediante MTT. Se observó la IC50 de $82.39 \pm 3.1 \mu\text{g/ml}$.</p>	<p>[Nayak et al., 2015].</p>

<p>Epazote / <i>Chenopodium ambrosioides</i></p>		<p>Es una planta de olor fuerte, erguida, glandulosa de 40 cm a 1 m de alto. Las hojas son pecioladas, oblongas a lanceoladas, de 3 a 10 cm de largo por 1 a 5 de ancho, gradualmente reducidas hacia la parte superior. Las plántulas son hipocótilo cilíndrico, de 8 a 20 mm, con o sin pelos; cotiledones sésiles, lineares, de 3.5 a 13 mm de largo y 0.5 a 1 mm de ancho.</p>	<p>Tés, pansadillas, frijoles negros, sopas, esquites, enchiladas, camarones en salsa de epazote.</p>	<p>El tratamiento artritis inducida por colágeno tipo II en ratones con 5 mg / kg de extracto crudo hidroalcohólico de <i>Chenopodium ambrosioides</i> redujo el porcentaje de neutrófilos, macrófagos, el número de células de la médula ósea, aumentó el número de linfocitos y la celularidad de los ganglios linfáticos inguinales. Este tratamiento inhibió la concentración sérica de IL-6 y TNF-α, lo que puede estar relacionado con la preservación de la densidad ósea y con el ligero engrosamiento de los tejidos periarticulares, con mínima fibrosis y proliferación de fibroblastos en las articulaciones.</p>	<p>(Pereira et al., 2018).</p>
<p>Hoja de rábano / <i>Raphanus sativus</i></p>		<p>Planta bienal con hojas basales de hasta 30 cm, pecioladas, en rosetas, lirado-pinnatisectas, con 2-3 pares de segmentos laterales y uno terminal de mayor tamaño, sub-orbicular; las superiores, de ovadas a oblogo-lanceoladas.</p>	<p>Moles, cremas, ensaladas, pesto, sopas.</p>	<p>El consumo diario durante 16 semanas de hoja de <i>Raphanus sativus</i> disminuyó significativamente la ganancia de peso corporal en los ratones de tipo salvaje y ApoE - / -. Condujo también a una disminución en el peso de la grasa</p>	<p>(Matsuyama et al., 2021).</p>

				<p>visceral y los niveles de triglicéridos en suero. Los autores mencionan que el consumo diario de dietas que contienen <i>Raphanus sativus</i> puede ayudar a prevenir dislipidemia al inhibir la absorción de grasas.</p>	
<p>Verdolaga / <i>Portulaca oleracea</i></p>		<p>Las hojas son alternas en conjuntos con el tallo. Puede alcanzar hasta 40 cm de altura, con flores amarillas.</p>	<p>Costilla en salsa verde, chuleta ahumada, salteadas, acompañadas de nopales y huevo.</p>	<p>El consumo de <i>Portulaca oleracea</i> (PO) puede inducir la activación y maduración de la vacuna de células dendríticas (CD), lo que se atribuye al aumento de la respuesta inmune antitumoral específica y al mecanismo de acción involucrado en la vía de señalización TLR4 / MyD88 / NF-κB. Además, se logró una inhibición notable del crecimiento tumoral induciendo apoptosis y mejorando las respuestas inmunes. Además, la vacuna de CD tratada con extracto PO pudo inhibir las metástasis pulmonares. Los resultados demostraron la viabilidad de PO como coadyuvante comestible de la vacuna DC para la terapia contra el cáncer de mama.</p>	<p>(Jia et al., 2021).</p>

<p>Quintonil / <i>Amaranthus hybridus</i></p>		<p>Es una hierba anual con hojas acuminadas hacia el ápice con la punta obtusa, con tricomas delgados.</p>	<p>Moles, pipianes, enchiladas, ensaladas, sopas, al vapor, quesadillas, bistec en salsa de quintonil, tortas de quintonil rellenas.</p>	<p>El tratamiento en ratas diabéticas con <i>Amaranthus hybridus</i> reduce significativamente el daño oxidativo asociado a la hiperglucemia. Esto podría proporcionar una justificación para el uso de la planta para tratar la diabetes en la medicina popular.</p>	<p>[Balasubramanian et al.,</p>
---	---	--	--	---	---------------------------------

En la Tabla 1 se muestra el nombre popular y el científico de los ocho quelites analizados en el presente estudio con una imagen representativa del quelite crudo y blanqueado mostrando los cambios físicos con relación a las modificaciones organolépticas generadas por el efecto térmico, además de las características botánicas de las hojas, así como los usos gastronómicos más comunes en la cocina tradicional mexicana. Por último, se muestran los últimos estudios reportados en la literatura de los efectos como uso nutracéutico de los quelites en la salud.

Con respecto a los compuestos fitoquímicos de los quelites evaluados, varios autores han descrito su presencia en la mayoría de las hojas crudas. En el presente estudio, el énfasis es evaluar como estrategias dietéticas, el efecto en la concentración de estos compuestos fitoquímicos en los quelites crudas y después de un proceso térmico, como el blanqueado culinario.

Como se muestra en la Figura 1, en la sección a) los valores de los CFT en todos los quelites crudos y hervidos se observaron concentraciones de 640.5 ± 83.4 y 249.5 ± 25.0 mg EAG/g MS ($p < 0.0001$), respectivamente. De igual forma se observa en b) los

valores de los FT en todos los quelites crudos y hervidos valores de 463.3 ± 85.6 y 115.3 ± 30.0 mg EAG/g MS ($p = 0.0002$), respectivamente. Finalmente se observan en c) los valores de los TC en todos los quelites crudos y hervidos donde fueron de 0.20 ± 0.01 y 0.53 ± 0.08 mg EC/g MS ($p = 0.0001$), respectivamente.

Gunathilake y colaboradores (2018) observaron el efecto térmico en el contenido de fenoles y flavonoides de distintas plantas comestibles, para ello agregaron las muestras (100 g / 150 mL) y se cocinaron a fuego moderado durante 5 min. Ellos reportaron que las hojas de *D. zeylanica*, *S. grandiflora* y *P. edulis* mostraron un contenido total de polifenoles significativamente mayor ($p < 0.05$) en sus muestras crudas en comparación con sus muestras cocidas como fue en nuestro caso con todos los quelites menos en *Portulaca oleracea*. Esto puede indicar que la cocción generó pérdida de los compuestos fenoles en estos tipos de hojas. Sin embargo, mencionan que en las hojas de *C. auriculata* mostraron un contenido de polifenoles totales más de dos veces mayor en hojas hervidas en comparación con su forma cruda, así como en el presente estudio con *Portulaca oleracea* que aumentó un 26% en su forma hervida (Gunathilake et al., 2018).

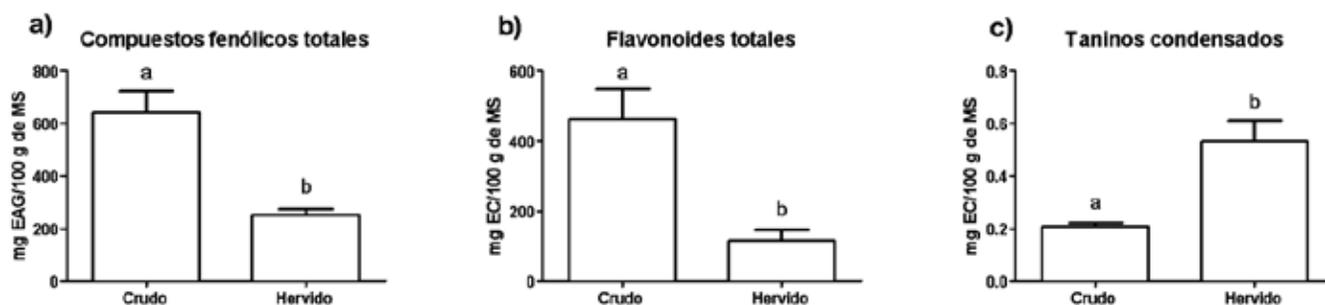


Figura 1. Promedio de las ocho muestras de quelites, a) compuestos fenólicos totales, b) flavonoides totales y c) taninos condensados, crudos y hervidos. Los resultados se muestran como la media de $n=3$ determinaciones de cada uno de los 8 quelites \pm desviación estándar. Se usó una prueba t de student pareada, se muestra la diferencia estadística significativa $p < 0.05$ con letras (a y b), EAG: equivalente de ácido gálico, EC: equivalente de catequina, MS: materia seca.

En la Tabla 2 se muestra la comparación y el delta de cambio de las ocho diferentes especies de quelites presentes en la dieta tradicional mexicana entre crudo y hervido de la concentración de CFT. Se observa que todos los quelites disminuyeron en un promedio del 58% su concentración debido al tratamiento térmico del blanqueado culinario menos *Portulaca oleracea* el cual fue el único quelite con un aumento (26%) en la concentración de CFT por el tratamiento térmico, esto podría deberse a la cantidad de fenoles complejos en la composición total de fenoles que puedan descomponerse por el efecto térmico a fenoles simples aumentando así, la concentración total de compuestos fenólicos, además de las características físicas de la materia vegetal de la plántula en comparación con las demás siendo ésta más gruesa y de menor tamaño (Tabla 1). Es importante mencionar que el grado de degradación de los polifenoles depende del tiempo de procesamiento, el calor y el tamaño de la porción de las hojas comestibles. Algunos investigadores han demostrado que los procesos térmicos de bajo grado no afectan el nivel de polifenoles en el tejido vegetal. Además, los tratamientos térmicos pueden inactivar las enzimas oxidativas que son responsables de la oxidación de los antioxidantes y, como resultado, pueden aumentar la actividad antioxidante [Ewald et al., 1999].

Así mismo, El aumento de fenoles totales en *Portulaca oleracea* concuerda con Turkmen y colaboradores (2005), en la medida en que la cocción podría aumentar el contenido de fenoles en algunas verduras como las judías verdes, el brócoli y la pimienta. Además, se informó que la base del aumento en el contenido de fenoles durante la cocción no

podría establecerse categóricamente. Sin embargo, podría atribuirse a la posible descomposición de los compuestos fenólicos complejos como los taninos presentes en las verduras durante el procesamiento térmico en polifenoles simples [Turkmen et al., 2005]. Por otro lado, Ferracane y colaboradores (2008) informaron que el aumento de polifenoles totales durante el procesamiento térmico podría deberse a la liberación de polifenoles de los complejos proteicos intracelulares, cambios en la estructura celular de la planta, modificaciones de la matriz o inactivación de las polifenoles-oxidasas. Además, los tratamientos térmicos podrían inactivar las polifenoles-oxidasas, evitando la oxidación y polimerización de los polifenoles [Ferracane et al., 2008]. Por otro lado, Managa y colaboradores en 2019 observaron que el blanqueado en un baño de agua a 95 °C usando agua como vehículo, aumentó significativamente el contenido fenólico total en la col china en comparación con las hojas crudas. Sin embargo, con una concentración creciente de jugo de limón, se notó una tendencia a la baja en el contenido fenólico total. Cuando se utilizó jugo de limón al 10% como medio para blanquear, el contenido fenólico total se mantuvo en niveles similares a los de las hojas crudas. Los autores mencionan que los tratamientos de blanqueo térmico inactivan la actividad de la polifenol-oxidasa que utiliza los polifenoles como sustratos para la reacción de oscurecimiento.

Sin embargo, algunos investigadores han demostrado una disminución en los compuestos fenólicos totales debido a la degradación térmica y la lixiviación en el agua [Managa et al., 2019].

Tabla 2. Compuestos fenólicos totales (CFT), análisis de materia seca de hoja cruda y hervida de diferentes especies de quelites.

Quelite	Compuestos fenólicos totales (CFT) (mg EAG/g MS)					
	Crudo		Hervido		p	Δ%
<i>Chenopodium berlandieri</i>	595.5	± 13.2	246.9	± 6.5	0.0001*	-58.5
<i>Porophyllum guett</i>	1626.0	± 75.0	99.3	± 7.6	0.0005*	-93.9
<i>Beta vulgaris</i>	585.2	± 42.2	387.9	± 26.8	0.0021*	-33.7
<i>Curcubita maxima</i>	271.0	± 38.9	178.5	± 21.1	0.0571	-34.1
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	748.7	± 28.5	350.9	± 14.2	0.0014*	-53.1
<i>Raphanus sativus</i>	506.2	± 43.2	231.2	± 16.3	0.0050*	-54.3
<i>Portulaca orleracea</i>	330.6	± 16.3	417.4	± 45.1	0.0316*	+26.3
<i>Amaranthus hybridus</i>	460.3	± 68.3	83.9	± 11.8	0.0042*	-81.8

Los resultados se muestran como concentraciones promedio de n=3 determinaciones ± una desviación estándar. * t de student pareada, significa diferencia significativa (se muestra p) y Δ%: delta de cambio con base a la materia cruda, EAG: equivalentes de ácido gálico, MS: materia seca.

En la Tabla 3 se puede observar la comparación de la concentración de flavonoides totales entre hojas crudas y hervidas, en donde podemos observar que *Portulaca orleracea* en conjunto con *Curcubita máxima* tienen un aumento en la concentración de flavonoides por el efecto térmico del blanqueado. La verdolaga obtuvo un mayor aumento en la concentración de compuestos. Por otro lado, se observa en el resto de los quelites una disminución de las concentraciones totales de flavonoides por el efecto del blanqueado culinario, es similar entre toda la concentración de pérdida de compuestos el cual osciló entre 82 y 97%.

De igual forma, Gunathilake y colaboradores en 2008 evaluaron el contenido de flavonoides totales donde mencionan que éstos son compuestos termosensibles. Por tanto, la exposición al calor durante la cocción podría influir en gran medida en su concentración. Mostraron que el contenido total de flavonoides aumentó significativamente ($p < 0.05$) en comparación con todas las formas crudas después de la ebullición, excepto *P. edulis*. Los aumentos porcentuales del contenido de flavonoides en hojas hervidas de *O. zeylanica*, *C. auriculata*, *S. grandiflora*, *G. lactiferum* y *C. asiatica* fueron 163%, 140%, 160%, 197% y 120% respectivamente, en comparación con sus hojas crudas (Gunathilake et al., 2018). En nuestro caso solo *Curcubita máxima* y

Portulaca orleracea aumentaron su concentración debido al efecto térmico del blanqueado culinario. Este aumento en el contenido de flavonoides posterior a la ebullición puede estar relacionado con una mayor disponibilidad para la extracción y con una liberación más eficiente de fenoles y compuestos flavonoides, así como de proteínas intracelulares y estructuras de la pared celular alteradas (Wachtel-Galor et al., 2008).

Del mismo modo, Mazzeo y colaboradores en 2011 informaron del incremento en la concentración de los flavonoides, pero en brócoli y espinacas al momento de someterlos a un proceso térmico (Mazzeo et al., 2011). Se menciona que al igual que en los fenoles, el contenido de flavonoides en todas las hojas hervidas fue significativamente menor ($p < 0.05$) en comparación con su contenido crudo. Sin embargo, debido a la menor solubilidad en agua de los flavonoides en forma de glucósidos flavonoides y derivados acilados, menos de estos flavonoides se extraen de los tejidos vegetales mediante el proceso de cocción en comparación con los derivados glucurónidos altamente solubles. Por lo tanto, la mayoría de los glicósidos flavonoides y sus formas aciladas se retienen en el tejido durante el proceso de cocción. En consecuencia, la variación en las pérdidas y ganancias de flavonoides debido a los tratamientos de cocción en los tipos de hojas estudiadas podría deberse

a los tipos de cocción, la naturaleza de las hojas y las formas de los flavonoides presentes en las matrices de las plantas [Gunathilake et al., 2018].

Por otro lado, Cortez-García y colaboradores analizaron muestras de frutas endémicas mexicanas y mencionan que el contenido de FT encontrado para el xoconostle fresco fue de 1.19 mg EC / g de MS. Después de la cocción, los FT se mantuvieron sin cambios en el xoconostle hervido en comparación con la fruta fresca. Esta observación concuerda con hallazgos previos que informan de que el tratamiento térmico aumenta el nivel de flavonoides. Por ejemplo, Roy y colaboradores (2009), encontraron que el brócoli

cocido al vapor durante 5 y 10 minutos resultó en aumentos en FT en 2.5 y 3.5 veces, respectivamente. Tal aumento en el contenido de flavonoides se debe principalmente a una mayor liberación de fitoquímicos de la matriz, que se hace más accesible durante el procesamiento térmico debido a la alteración de las membranas celulares y las paredes celulares, liberando así fitoquímicos que aumentan la reserva de flavonoides [Roy et al., 2009]. No podemos comparar ambos efectos debido al tiempo de exposición al calor pero si podemos acercarnos de forma general al efecto térmico en materia vegetal para la liberación de moléculas complejas a simples.

Tabla 3. Flavonoides totales (FT), análisis de materia seca de hoja cruda y hervida de diferentes especies de quelites.

Quelite	Compuestos fenólicos totales (CFT) [mg EAG/g MS]					p	Δ%
	Crudo		Hervido				
<i>Chenopodium berlandieri</i>	410.4	± 33.6	71.1	± 11.8		0.0014*	-82.7
<i>Porophyllum guett</i>	1464.0	± 115.0	85.9	± 72.3		0.0020*	-94.1
<i>Beta vulgaris</i>	237.7	± 35.1	21.5	± 10.6		0.0068*	-90.9
<i>Curcubita maxima</i>	65.1	± 7.9	90.1	± 25.0		0.1490	+38.4
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	246.5	± 31.2	78.0	± 16.1		0.0054*	-68.4
<i>Raphanus sativus</i>	542.8	± 19.5	85.4	± 87.3		0.0087*	-84.3
<i>Portulaca orleracea</i>	213.7	± 54.1	477.1	± 42.2		0.0047*	+123.3
<i>Amaranthus hybridus</i>	526.2	± 61.1	13.7	± 7.1		0.0019*	-97.4

Los resultados se muestran como concentraciones promedio de n=3 determinaciones ± una desviación estándar. * t de student pareada, significa diferencia significativa [se muestra p] y Δ%: delta de cambio con base a la materia cruda, EAG: equivalentes de ácido gálico, MS: materia seca.

En la Tabla 4 se muestra, de igual forma que en las Tablas 2 y 3, pero con relación a los taninos condensados, en donde podemos observar al contrario que las tablas anteriores, un aumento en la concentración de taninos en la mayoría de los quelites. El más alto fue *Chenopodium ambrosioides* con un aumento aproximado de 430% y en menor proporción *Portulaca orleracea* con un aproximado de 20%. Todos estadísticamente diferentes con relación al aumento de la concentración de taninos condensados por el efecto del hervido culinario.

Hernández-Aguirre y colaboradores (2020), mencionan que los factores no nutricionales (NNF)

los taninos condensados, CFT y FT que tienen efectos negativos sobre la salud humana, pero por lo general, los NNF se eliminan al cocinar en donde observaron que la concentración se redujo los compuestos fenólicos totales [48%], taninos condensados [28%], flavonoides [65%] a diferencia de nuestros resultados que mostraron ser contrarios [Hernández-Aguirre et al., 2020]. Por otro lado, Luzardo-Ocampo y colaboradores (2019), mencionan que *Sorghum bicolor L. Moench* se ha utilizado escasamente como alimento humano debido a ciertos factores antinutricionales como los taninos que reducen su digestibilidad, aunque el grano es una fuente importante

de compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos. La nixtamalización fue el procedimiento más eficaz para la reducción de taninos [74.3%]. El ácido gálico resultó ser el compuesto fenólico más bioaccesible [6359 µg / g]. Los fenólicos totales y los taninos condensados se correlacionaron con la capacidad antioxidante [ABTS /

DPPH; R²: 0.30–0.43, p < 0.05]. Estos resultados confirman el potencial de los procedimientos térmicos para modificar significativamente la bioaccesibilidad de los compuestos fitoquímicos, mejorando sus concentraciones y reduciendo la concentración de taninos, al tiempo que mejoran su capacidad antioxidante [Luzardo-Ocampo et al., 2019].

Tabla 4. Taninos condensados (TC), análisis de materia seca de hoja cruda y hervida de diferentes especies de quelites.

Quelite	Taninos condensados (TC) (mg EC/g MS)					p	Δ%
	Crudo		Hervido				
<i>Chenopodium berlandieri</i>	0.201	± 0.017	0.416	± 0.070	0.0241*	+106.4	
<i>Porophyllum guett</i>	0.174	± 0.032	0.611	± 0.001	0.0009*	+250.7	
<i>Beta vulgaris</i>	0.332	± 0.024	0.479	± 0.010	0.0015*	+44.1	
<i>Curcubita maxima</i>	0.102	± 0.014	0.197	± 0.007	0.0008*	+92.7	
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	0.280	± 0.031	1.492	± 0.068	0.0002*	+432.3	
<i>Raphanus sativus</i>	0.201	± 0.021	0.363	± 0.045	0.0185*	+80.3	
<i>Portulaca orleracea</i>	0.213	± 0.004	0.258	± 0.024	0.0348*	+21.2	
<i>Amaranthus hybridus</i>	0.143	± 0.014	0.425	± 0.086	0.0112*	197.4	

Los resultados se muestran como concentraciones promedio de n=3 determinaciones ± una desviación estándar. * t de student pareada, significa diferencia significativa [se muestra p] y Δ%: delta de cambio con base a la materia cruda, EC: equivalentes de catequina, MS: materia seca.

En general, se observa la diferencia entre todos los quelites de los tres grupos de fitoquímicos ya mencionados agrupados por crudos y hervidos. En donde podemos observar en las hojas crudas en los CFT y FT del quelite con mayor concentración fue *Porophyllum ruderale* con 1626 ± 75.01 mg EAG/g MS y 1464 ± 115.0 mg EAG/g MS respectivamente, en donde los demás quelites tenían concentraciones similares. Por el lado de los TC de hoja cruda se observó que la mayor concentración la obtuvo *Beta vulgaris* y *Chenopodium ambrosioides* con concentraciones de 0.3322 ± 0.02439 mg EC/g MS y 0.2803 ± 0.03125 mg EC/g MS respectivamente. Por otro lado, la concentración de los fitoquímicos hervidos como vimos anteriormente varía, dentro de los CFT y FT el quelite con mayor concentración se observó en *Portulaca orleracea* la cual superó las concentraciones en crudo en ambas pruebas con concentraciones de 417.4 ± 45.07 mg EAG/g MS y 477.1 ± 42.18 mg EAG/g MS respectivamente. Por último, en los TC de hojas hervidas se observó una mayor concentración de *Chenopodium ambrosioides* con 1.492 ± 0.06766 mg EC/g MS, siendo mayor que las concentraciones en crudo.

Es importante mencionar que es complicado comparar la concentración del perfil fenólico reportada en otros estudios debido a las diferencias dentro de las condiciones en las que se desarrolló la planta, así como las variaciones en la metodología y forma de expresión de resultados. Por ejemplo, las características ambientales influyen en los tipos de estrés bióticos y abióticos en los cuales se encuentra la planta y sintetiza en consecuencia diferentes metabolitos secundarios. Algunas variaciones ambientales son la altitud, la temporada del año, la calidad del suelo, la cantidad de radiación solar, la frecuencia de riego, la calidad del agua, plagas, entre otros. Además, el tipo de manipulación de la planta desde la cosecha hasta el almacenamiento. En resumen, los factores que afectan principalmente son los tiempos de cosecha, las condiciones climáticas y agronómicas, así como los lugares de cultivo. Asimismo, tipo de secado de las hojas es un punto importante el cual se debe considerar. No todos los estudios cuentan con tal información. Se conoce que el incremento en la temperatura incrementa el riesgo de perder compuestos de interés, por lo que el procesamiento

postcosecha como el tipo de secado es importante para evitar la degradación de diversos componentes con potencial bioactivo. Puede ser por liofilización o secado a temperaturas como 40°C por determinado tiempo (24 - 48 h aproximadamente) hasta obtener un peso constante. El molido de la muestra es otro aspecto a considerar en las metodologías de análisis debido a que el tamaño de partícula se relaciona con la superficie de contacto que tiene la muestra para interactuar con los medios extractantes y esto afecta la cantidad de compuestos que puedan ser extraídos de la materia vegetal. Otro punto importante es el solvente utilizado para la extracción. En el presente estudio se utilizó agua que se añadió a la materia seca. Shang y colaboradores (2005) reportaron el contenido de fenoles en 26 extractos de especias comunes de plantas con rangos de 0.04 a 14.38 g EAG /100 g MS). Ellos reportaron que de la muestra vegetal en polvo (2 g) los compuestos fenólicos fueron extraídos con 50 ml de metanol al 80% a temperatura ambiente (23 °C) durante 24 h (Shan et al., 2005). Por último, las técnicas difieren por reactivos y protocolos que complican la comparación de resultados, además de las unidades en las que se expresan, siendo necesario homologar las condiciones de análisis para obtener resultados comparables entre diferentes muestras vegetales (Kuri-García et al., 2017).

Conclusiones

En el presente estudio se demostró la importancia que tiene identificar las modificaciones culinarias que se producen dentro de la cocina mexicana para seleccionar de manera informada el tipo de preparación si se busca un efecto positivo en la salud. Se observó en promedio una disminución en los CFT y en los FT; y un aumento en los TC por el blanqueado culinario en todos los quelites analizados. Es importante conocer los resultados presentados para poder dar mejores recomendaciones al momento de seleccionar el tipo de preparación culinaria de los alimentos, si buscamos beneficios extras además de los que nos brindan los quelites de forma natural. Se propone analizar las propiedades organolépticas de los quelites estudiados para proponer un recetario de quelites endémicos mexicanos de la cocina tradicional mexicana en un futuro, además de que se necesita más información para la identificación de compuestos independientes para

conocer su comportamiento dentro del complejo del perfil fenólico en los procesos culinarios presentes en la cocina tradicional mexicana.

Agradecimientos

Agradecemos a la Licenciatura en Gastronomía de la Facultad de Filosofía y al Laboratorio de Biología Celular y Molecular de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Referencias bibliográficas

- Balasubramanian, T., Karthikeyan, M., Muhammed Anees, K. P., Kadeeja, C. P., & Jaseela, K. (2017). Antidiabetic and Antioxidant Potentials of *Amaranthus hybridus* in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Journal of Dietary Supplements*, 14(4), 395-410. <https://doi.org/10.1080/19390211.2016.1265037>
- da Silva, L. G. S., Morelli, A. P., Pavan, I. C. B., Tavares, M. R., Pestana, N. F., Rostagno, M. A., Simabuco, F. M., & Bezerra, R. M. N. (2020). Protective effects of beet (*Beta vulgaris*) leaves extract against oxidative stress in endothelial cells in vitro. *Phytotherapy Research*, 34(6), 1385-1396. <https://doi.org/10.1002/ptr.6612>
- Ewald, C., Fjelkner-Modig, S., Johansson, K., Sjöholm, I., & Åkesson, B. (1999). Effect of processing on major flavonoids in processed onions, green beans, and peas. *Food Chemistry*, 64(2), 231-235. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00136-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00136-8)
- Ferracane, R., Pellegrini, N., Visconti, A., Graziani, G., Chiavaro, E., Miglio, C., & Fogliano, V. (2008). Effects of different cooking methods on antioxidant profile, antioxidant capacity, and physical characteristics of artichoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(18), 8601-8608. <https://doi.org/10.1021/jf800408w>
- Gunathilake, K., Ranaweera, K., & Rupasinghe, H. (2018). Effect of Different Cooking Methods on Polyphenols, Carotenoids and Antioxidant Activities of Selected Edible Leaves. *Antioxidants*, 7(9), 117. <https://doi.org/10.3390/antiox7090117>
- Hernandez-Aguirre, A. I., Téllez-Pérez, C., Martín-Azócar, A. S., & Cardador-Martínez, A. (2020). Effect of

- instant controlled pressure-drop (DIC), cooking and germination on non-nutritional factors of common vetch (*Vicia sativa* spp.). *Molecules*, 25(1). <https://doi.org/10.3390/molecules25010151>
- Jia, G., Shao, X., Zhao, R., Zhang, T., Zhou, X., Yang, Y., Li, T., Chen, Z., & Liu, Y. (2021). Portulaca oleracea L. polysaccharides enhance the immune efficacy of dendritic cell vaccine for breast cancer. *Food & Function*, 12(9). <https://doi.org/10.1039/d0fo02522d>
- Kuri-García, A., Chávez-Servín, J. L., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2017). *Journal of Medicinal Plants Research Phenolic profile and antioxidant capacity of Cnidoscolus chayamansa and Cnidoscolus aconitifolius: A review*. 11(45), 713-727. <https://doi.org/10.5897/JMPR2017.6512>
- Luzardo-Ocampo, I., Ramírez-Jiménez, A. K., Cabrera-Ramírez, Á. H., Rodríguez-Castillo, N., Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., & Gaytán-Martínez, M. (2019). Impact of cooking and nixtamalization on the bioaccessibility and antioxidant capacity of phenolic compounds from two sorghum varieties. *Food Chemistry*, 309. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125684>
- Managa, M. G., Remize, F., Garcia, C., & Sivakumar, D. (2019). Effect of moist cooking blanching on colour, phenolic metabolites and glucosinolate content in Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. Sub Sp. *Chinensis*). *Foods*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/foods8090399>
- Managa, M. G., Shai, J., Thi Phan, A. D., Sultanbawa, Y., & Sivakumar, D. (2020). Impact of Household Cooking Techniques on African Nightshade and Chinese Cabbage on Phenolic Compounds, Antinutrients, in vitro Antioxidant, and β -Glucosidase Activity. *Frontiers in Nutrition*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.580550>
- Martínez-González, M. A., Gea, A., & Ruiz-Canela, M. (2019). The Mediterranean Diet and Cardiovascular Health: A Critical Review. In *Circulation Research* (Vol. 124, Issue 5, pp. 779-798). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.118.313348>
- Mateos-Maces, L., Chávez-Servía, J. L., Vera-Guzmán, A. M., Aquino-Bolaños, E. N., Alba-Jiménez, J. E., & Villagómez-González, B. B. (2020). Edible leafy plants from Mexico as sources of antioxidant compounds, and their nutritional, nutraceutical and antimicrobial potential: A review. In *Antioxidants* (Vol. 9, Issue 6, pp. 1-24). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/antiox9060541>
- Matsuyama, H., Tanaka, W., Miyoshi, N., Miyazaki, T., Michimoto, H., & Sakakibara, H. (2021). Beneficial effects of the consumption of sun-dried radishes (*Raphanus sativus* cv. YR-Hyuga-Risou) on dyslipidemia in apolipoprotein E-deficient mice. *Journal of Food Biochemistry*, 45(5). <https://doi.org/10.1111/jfbc.13727>
- Mazzeo, T., N'Dri, D., Chiavaro, E., Visconti, A., Fogliano, V., & Pellegrini, N. (2011). Effect of two cooking procedures on phytochemical compounds, total antioxidant capacity and colour of selected frozen vegetables. *Food Chemistry*, 128(3), 627-633. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.070>
- Nayak, D., Pradhan, S., Ashe, S., Rauta, P. R., & Nayak, B. (2015). Biologically synthesised silver nanoparticles from three diverse family of plant extracts and their anticancer activity against epidermoid A431 carcinoma. *Journal of Colloid and Interface Science*, 457, 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.07.012>
- Pereira, W. S., da Silva, G. P., Vigliano, M. V., Leal, N. R. F., Pinto, F. A., Fernandes, D. C., Santos, S. V. M., Martino, T., Nascimento, J. R., de Azevedo, A. P. S., Fonseca, E. N., Velozo, L. S. M., Souza Neto, L. R., Bastos, F. F., Portari, E. A., Sabino, K. C. C., Nascimento, F., & Coelho, M. G. P. (2018). Anti-arthritis properties of crude extract from *Chenopodium ambrosioides* L. leaves. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 70(8), 1078-1091. <https://doi.org/10.1111/jphp.12926>
- Roy, M. K., Juneja, L. R., Isobe, S., & Tsushida, T. (2009). Steam processed broccoli (*Brassica oleracea*) has higher antioxidant activity in chemical and cellular assay systems. *Food Chemistry*, 114(1), 263-269. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.050>
- Santiago-Saenz, Y. O., Hernández-Fuentes, A., Monroy-Torres, R., Cariño-Cortés, R., & Jiménez-Alvarado, R. (2018). Physicochemical, nutritional and antioxidant characterization of three vegetables (*Amaranthus hybridus* L., *Chenopodium berlandieri* L., *Portulaca oleracea* L.) as potential sources of phytochemicals and bioactive compounds. *Journal of Food*

- Measurement and Characterization*, 12(4), 2855-2864. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9900-7>
- Santiago-Saenz, Y. O., López-Palestina, C. U., Gutiérrez-Tlahque, J., Monroy-Torres, R., Pinedo-Espinoza, J. M., & Hernández-Fuentes, A. D. (2020). Nutritional and functional evaluation of three powder mixtures based on mexican quelites: Alternative ingredients to formulate food supplements. *Food Science and Technology*, 40(4), 1029-1037. <https://doi.org/10.1590/fst.28419>
- Santiago-Saenz, Y. O., Monroy-Torres, R., Rocha-Amador, D. O., & Hernández-Fuentes, A. D. (2020). Effect of a supplementation with two quelites on urinary excretion of arsenic in adolescents exposed to water contaminated with the metalloid in a community in the state of Guanajuato, Mexico. *Nutrients*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/nu12010098>
- Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M., & Corke, H. (2005). Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7749-7759. <https://doi.org/10.1021/jf051513y>
- Souza, M. C., Siani, A. C., Ramos, M. F. S., Menezes-De-Lima, O., & Henriques, M. G. M. O. (2003). Evaluation of anti-inflammatory activity of essential oils from two Asteraceae species. *Pharmazie*, 58(8), 582-586. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12967039/>
- Tsiompah, G., Murwani, R., & Maharani, N. (2021). Effects of Cooking Method on the Antioxidant Activity and Inhibition of Lipid Peroxidation of the Javanese Salad "Pecel" Vegetables and Its Peanut Sauce Dressing. *International Journal of Food Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8814606>
- Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y. S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4), 713-718. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038>
- Valerino-Perea, S., Lara-Castor, L., Armstrong, M. E. G., & Papadaki, A. (2019). Definition of the traditional mexican diet and its role in health: A systematic review. *Nutrients*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/nu11112803>
- Wachtel-Galor, S., Wong, K. W., & Benzie, I. F. F. (2008). The effect of cooking on Brassica vegetables. *Food Chemistry*, 110(3), 706-710. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.056>
- Xu, G., Ye, X., Chen, J., & Liu, D. (2007). Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 330-335. <https://doi.org/10.1021/jf062517l>





LA PROPAGACIÓN DE LOS CICLOS ECONÓMICOS EN EL SECTOR AGROPECUARIO EN MÉXICO 1960–2015.

THE PROPAGATION OF BUSINESS CYCLES IN THE AGRICULTURAL SECTOR IN MEXICO 1960–2015.

Valdés-Iglesias Edson¹*

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

* Autor de correspondencia, correo: edsonvaldes@gmail.com

Resumen

En este trabajo se proporciona evidencia empírica sobre los ciclos económicos en México y su repercusión en el sector agropecuario en el periodo de 1960 a 2015, tratando de establecer la intensidad y duración del ciclo en el sector agropecuario y el sector industrial manufacturero. Se analiza si esta relación contiene información que determine una sincronización a largo plazo entre las fluctuaciones de la economía nacional y las del sector agropecuario. A su vez, si existe evidencia que sugiera la existencia de alguna similitud en el comportamiento del sector agropecuario con el sector industrial manufacturero.

Palabras Clave: *Ciclos económicos, Cadenas de Markov, Asimetrías, Sincronización.*

Clasificación JEL: E32, N16, C02.

Abstract

This paper provides empiric evidence about the business cycles in Mexico and their effects on the agricultural sector during the period of 1960 to 2015, we will try to establish its intensity and duration of the cycle of agricultural sector and manufacturing industry sector. We will analyze if this relation contains information that allows an synchronization in the long run between the fluctuations of national economy and the agricultural sector. At the same time, if there exist evidence that suggest an existence or some similarities of the behavior of agricultural sector with the manufacturing industrial sector.

Keywords: *Business Cycles, Markov Chains, Asymmetries, Synchronization.*

JEL Classification: *E32, N16, C02.*

1. Introducción

La comprensión de la dinámica de los ciclos económicos, como afirma Mejía (2003b:232), es de gran importancia para la macroeconomía aplicada, empírica, moderna. Los estudios existentes sobre este tema han definido las regularidades empíricas de los comportamientos de distintas economías desarrolladas, y sus resultados han guiado la formulación de modelos teóricos para explicar el desarrollo y la dinámica de los ciclos, ofreciendo alternativas que se ajustan a la situación concreta bajo análisis. En este sentido, Lucas (1977:09) describe estos movimientos como no uniformes, ya sea de periodo o amplitud, es decir, no se parecen a los movimientos determinísticos que a veces surgen en las ciencias naturales. Las regularidades observadas son los movimientos entre las variables macroeconómicas, a esta visualización del comportamiento recurrente de una economía se le denominó ciclos económicos reales.

A partir de la concepción antes presentada, Díaz y Mendoza (2012:90) señalan que los modelos de ciclos económicos reales son una herramienta poderosa para predecir la reacción que puede tener una economía frente a un choque exógeno, siendo una condición para describir alguna línea de tendencia previsible que pueda seguir la actividad económica, sea esto en el ámbito nacional, subnacional o sectorial. De ahí que, Zuccardi (2002) evidencia que las investigaciones de los ciclos económicos reales se han enfocado en el análisis de los cambios en los grandes agregados económicos, no reconociendo explícitamente que las variables macroeconómicas muestran el resultado de los comportamientos individuales de los agentes, agrupados en sectores económicos, presentando cada una particularidades de acuerdo con la composición de la producción y su sensibilidad a los choques económicos, generando en cada sector una dinámica distinta.

Partiendo de esta argumentación, Escalante y Catalán (2008) enfatizan que el sector agropecuario mexicano ha enfrentado transformaciones profundas durante los últimos treinta años. Un proceso continuo de urbanización, la integración a los mercados competitivos y las transformaciones demográficas han gestado un nuevo entorno para el sector, revelando un comportamiento

diferente al que se presenta en los distintos sectores de la economía.

Al presentarse comportamientos asimétricos en los sectores de la economía, se podría inferir que las fluctuaciones presentadas dentro de cada uno deberían presentar regularidades empíricas distintas, esperando que los sectores respondan de manera diferenciada a los choques económicos suscitados para el caso del sector agropecuario, el cual presenta características derivadas de su estructura productiva. Podríamos suponer que en periodos de contracción o recuperación de la actividad económica deberían existir irregularidades en la conducta con respecto a los otros sectores.

Carrillo (2001) expone que la demanda de productos agropecuarios está en función de los precios del mismo periodo, mientras que la oferta de ese periodo está en función de los precios del periodo anterior, la decisión de adquirir este tipo de bienes será determinada por el precio corriente del mercado. En este sector no se puede tener una empresa tan grande que represente un porcentaje importante de la producción total, por lo que reina la competencia que mantiene los márgenes de ganancia en niveles mínimos; además, es imposible diferenciar el producto, de manera que inevitablemente no hay ganancias extraordinarias por esos conceptos, cuestiones que no suceden en el caso del sector industrial o el comercio. Esta afirmación nos permitiría inferir que las fluctuaciones que presenta el sector agropecuario pueden ser de distinta magnitud a las que se presentan en el nivel de actividad económica nacional o en el sector industrial.

Aunado a esto Contré y Goldin (1990) argumentan que uno de los factores explicativos del comportamiento de la agricultura en el ciclo económico es la elasticidad precio de la oferta de dichos bienes, ya que ésta es cercana a cero en el corto plazo, generando en una recesión la caída en los precios relativos de los productos agrícolas, y aunque exista una contracción en la demanda de bienes industriales, se podría acentuar de manera distinta en el caso de los bienes agrícolas. A partir de la afirmación anterior se puede derivar una suposición acerca de una dinámica distinta en intensidad y duración de los ciclos económicos en el sector agropecuario.

2. Un acercamiento a la teoría del ciclo económico real

La teoría económica denomina a las fluctuaciones que experimenta una economía a través del tiempo como ciclos económicos, siendo éstos, alteraciones que experimenta la actividad económica de un país a través del tiempo. Estas variaciones pueden ser resultado de distintos ajustes en la política económica, fluctuaciones en los precios de materias primas o por desequilibrios en ciertos mercados internos o externos. No existen dos ciclos económicos que sean iguales, cada ciclo tiene una duración y amplitud distinta, como afirma Sherman (1991) en una economía capitalista el ciclo económico tendrá una presencia indiscutible.

De lo anterior, la característica más importante de las oscilaciones como lo enfatiza Frisch (1933: 171) es la longitud de los ciclos y la tendencia hacia la amortiguación que estará determinada por la estructura intrínseca del sistema oscilante, ahora bien, la intensidad (amplitud) de la fluctuación será generada principalmente por impulsos exógenos. En consecuencia, las fluctuaciones más o menos regulares pueden ser producidas por una causa que opera irregularmente, debido a este hecho que ha sido frecuentemente pasado por alto en el análisis del ciclo económico las variaciones cíclicas desde un punto de vista de una oscilación. En este tipo de análisis es necesario considerar no solo un conjunto de magnitudes en un punto dado de tiempo y las interrelaciones entre ellas, sino introducir ciertas ecuaciones que abarcan al mismo tiempo varias de estas magnitudes en diferentes instantes.

Es por esto que casi la totalidad de los fenómenos de la actividad económica se producen en secuencias de movimientos de ascenso y descenso, pues las economías se desenvuelven sobre trayectorias de equilibrio de las cuales pueden alejarse temporalmente debido a eventos de carácter aleatorio. Una gran variedad de causas podría traducirse en choques reales sobre la economía, los choques aleatorios se podrían distribuir de acuerdo con una función estadística normal, y por lo general “serían” movimientos de pequeño tamaño y aproximadamente la mitad “serían” positivos y los otros negativos (Slutzky, 1937:105).

Por lo tanto, los ciclos económicos no se pueden interpretar como desviaciones respecto al equilibrio,

sino como movimientos temporales por los que pasan los equilibrios. Al ser el equilibrio una confrontación entre preferencias y posibilidades, las fluctuaciones reales del ciclo económico no deberían considerarse como desviaciones de reducción del bienestar de una economía walrasiana idealmente eficiente. Pues, ninguna parte del comportamiento de los precios y agregados económicos puede atribuirse a perturbaciones monetarias, actividad gubernamental, información incompleta, expectativas sesgadas o ineficazmente formadas o costos de transacción. El fenómeno del ciclo está presente en el comportamiento de la economía, es una característica innegable y perfectamente coherente con la eficiencia económica (Long y Plosser 1983:42).

Todo esto parece confirmar lo señalado por Lucas (1977, p. 9), para quien algunas de las principales características cualitativas que se presentan en las series económicas temporales que llamamos comúnmente ciclo económico, son:

Movimientos alrededor de la tendencia en el producto nacional bruto de un país [...] Estos movimientos, que no presentan uniformidad de cualquiera de los períodos o amplitud, es decir, que no se parecen a los movimientos de las olas deterministas que a veces surgen en las ciencias naturales. Esas regularidades que se observan son los co-movimientos entre la agregación de las diferentes series de tiempo. (Lucas, 1977:9).

Es por esto que surge la posibilidad de una explicación unificada de los ciclos económicos, basada en las leyes generales que gobiernan las economías de mercado, y no en características políticas o institucionales específicas. Esta cuestión ofrece una percepción distinta hacia la comprensión y estudio de los ciclos; no define al ciclo como una secuencia de eventos de la actividad económica, sino como los co-movimientos de los componentes cíclicos de los agregados económicos a lo largo del tiempo.

Este comportamiento parece estar caracterizado por al menos dos amplias regularidades: las series individuales muestran altibajos de manera persistente, lo cual puede ser medido como desviaciones de la tendencia, dado que una variable tiende a permanecer por encima de la tendencia o debajo de ella durante algún tiempo; situación que es significativa sólo en la medida en que las desviaciones de la tendencia forman un

proceso estacionario, de media cero; y la segunda y más importante es que las medidas de diversas actividades económicas se mueven juntas; a veces, cuando una está por encima o debajo de su tendencia, “otras” medidas de la actividad económica tienden también a reproducir este patrón de comportamiento (Long y Plosser, 1983:40).

Por lo tanto, si la mayor parte de la variación cíclica de la producción, inversión, consumo y las existencias de capital surge de las variaciones en las horas de empleo por hogar y no de las variaciones en la productividad del trabajo, esta última observación es difícil de explicar puesto que el consumo de bienes producidos en el mercado y el consumo de ocio se mueven en direcciones opuestas en ausencia de un gran movimiento aparente en el salario real durante el ciclo. Para lo cual en el modelo, se asume que el salario real es proporcional a la productividad del trabajo, por lo que la prueba crucial es si la mayor parte de la variación en el producto cíclico surge de las variaciones en el empleo más que de las variaciones en la productividad del trabajo. Razón por la cual las estadísticas a explicar son las covariaciones de los componentes cíclicos, que son de gran interés porque su comportamiento es estable a lo largo del tiempo y solo choques de carácter exógeno sacarían de su trayectoria a una economía (Kydland y Prescott, 1982: 1359–1360).

Lo dicho hasta aquí sugiere que el componente secular de las series económicas no contiene una tendencia temporal determinística, pero sí tiene una tendencia estocástica característica de los procesos de este tipo. Esto indicaría que las variaciones en los factores reales puede ser una fuente importante de las fluctuaciones que se presentan en los diferentes agregados económicos y no son generadas por factores monetarios como era atribuido anteriormente (Nelson y Plosser, 1982:152–155).

Por este motivo podemos suponer que la fuente primaria de la dinámica de las fluctuaciones del nivel de actividad económica está dada por los procesos estocásticos de los choques que se generan debido a cambios tecnológicos y cómo estos afectan la posible trayectoria de largo plazo. Las alteraciones que son generadas por la demanda son perturbaciones que podemos considerar transitorias, que no deberían desviar la trayectoria del PIB potencial, y sólo los

sucesos provenientes de la oferta pueden alterar dicha trayectoria.

3. Metodología

Para determinar los ciclos de la economía nacional, del sector industrial manufacturero y el sector agropecuario se procedió a extraer el componente cíclico de cada una a través del filtro propuesto por Hodrick y Prescott (1997)¹, quienes consideran que las series de tiempo de agregados macroeconómicos son la suma de los componentes cíclico y de crecimiento, con la información que presenta el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), cada serie utilizada fue deflactada a precios de 2003 y se ajustaron para ser analizadas.

A partir del componente cíclico se determinaron los puntos de inflexión al compararse con los valores de los dos periodos que los preceden, se fecharon como pico si este punto es seguido de un decrecimiento; y será valle si este es el valor más pequeño y el valor subsecuente presenta un aumento, cumpliendo la condición de una amplitud mínima de cinco periodos para poder ser considerado como un ciclo económico. Si no se cumpliera dicha condición se considerarían movimientos erráticos a corto plazo (Artis, Kontolemis y Osborn 1997: 82).

Al tener identificados los periodos de contracción y recuperación se procede a desagregar las series para generar una variable dummy que capture a cada una de las fases para determinar la amplitud, desviación y variación que presenta cada una, se establece que el ciclo que se obtiene de la economía nacional será el que sirva de referencia para determinar si los componentes cíclicos de los sectores ofrecen evidencia empírica que sugiera la existencia de co-movimientos entre las series, pudiendo ser estas fluctuaciones contemporáneas al ciclo si y solo si inician en el mismo punto fechado para la fase de contracción de la economía nacional, que sigan al ciclo si cumplen la condición de comenzar a partir del año subsecuente o que anteceda al ciclo si entra en fase de contracción un año antes.

A su vez con las fases de contracción y recuperación de los ciclos se procedió a realizar una matriz de transición de estados de proceso estocástico.

¹Al ser ampliamente utilizada esta metodología solo hacemos referencia a la misma.

De acuerdo a Gujarati y Porter (2000:740), podemos definir un proceso estocástico o aleatorio discreto como una colección de variables aleatorias ordenadas en el tiempo. Si E denota una variable aleatoria se expresará como E_t . En este sentido Brzezniak y Zastawniak (2002:88), exponen que el proceso E_t será una de Markov en S si para todo $n \in N$ y $s \in S$

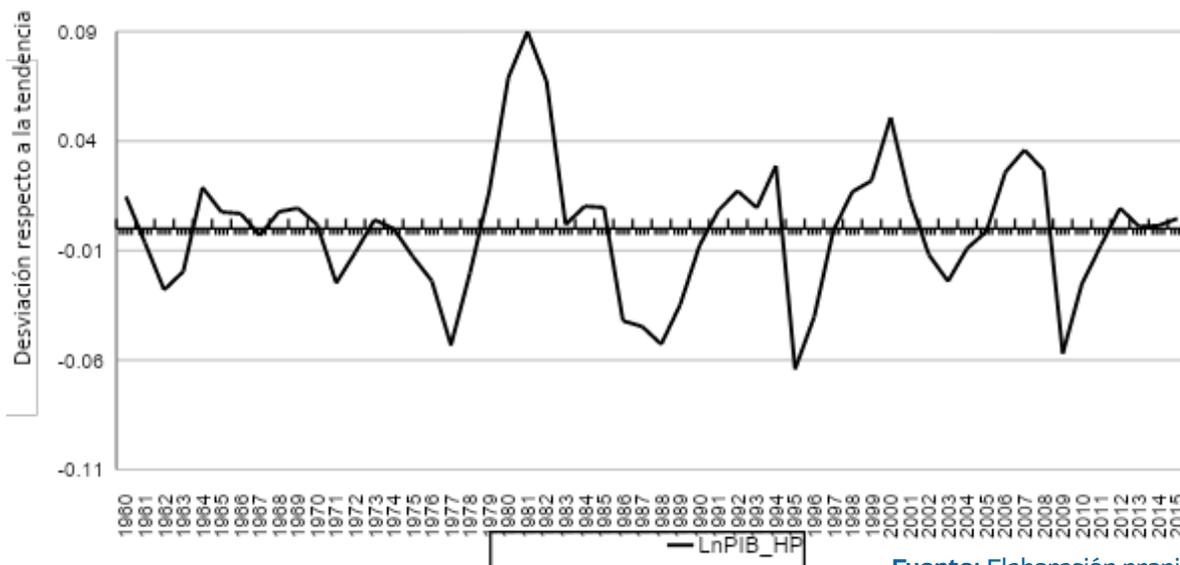
$$P(E_{n+1}=s|E_0, \dots, E_n) = P(E_{n+1}=s | E_n)$$

(1) donde $P(E_{n+1}=s | E_n)$ es la probabilidad condicional del evento $\{E_{n+1}=s\}$ con respecto a la variable aleatoria E_n . Por lo general (1) se conoce como propiedad de Markov de E_n , $n \in N$, siendo S un conjunto llamado el espacio de estados, cuyos elementos serán llamados estados, entendiendo esto como una representación de un sistema que cambia de un estado a otro a lo largo del tiempo, lo que implicaría que la probabilidad de que E_{n+1} tome algún valor s en el momento $n+1$ solo dependerá del valor que tomo en el momento anterior n . Cuando el espacio de estados es $S = \{0,1\}$, identificando al estado 0 como una recuperación y el estado 1 como contracción, este proceso generará, a partir de la frecuencia de los cambios, una matriz de probabilidades de transición $\{P_{ij}\}$, para $ij=0,1$, los cuales nos indicaran la probabilidad que el sector de la economía pase del estado i en el periodo n al estado j en el periodo $n+1$.

4. Evidencia empírica de los ciclos económicos en México

En la Gráfica 1 se muestra el comportamiento del componente cíclico del PIB dentro del periodo de análisis, pudiendo identificar los diferentes episodios que se han presentado en la economía mexicana. De 1960 a 1973, se presentaron desviaciones respecto a la tendencia no mayores al $\pm 2.5\%$, siendo esto congruente con el modelo estabilizador. Después de esto podemos distinguir seis periodos de contracción del componente cíclico del PIB: el primero de 1974 a 1977, periodo caracterizada por el aumento desmedido del gasto público y una tasa de inflación muy alta; el segundo de 1982 a 1988 asociado a la crisis de la deuda y la caída de los precios internacionales de petróleo; el tercero en 1995, el cual corresponde a la crisis financiera; el cuarto periodo de 2001 a 2003, propiciado por la fase recesiva en la que se ve inmersa la economía norteamericana. Esta llevó a una recesión a la Unión Europea y Japón, situación que no sucedía desde 1982. El sexto periodo de 2008 a 2009, provocado por la crisis financiera presentada en la economía de Estados Unidos. El último periodo de contracción suscitado fue en 2013, situación que esta relacionado con la disminución de la demanda de los Estados Unidos que afectó al sector industrial manufacturero a finales del 2012 y la crisis del sector de la construcción en México. Los resultados obtenidos presentan congruencia con los acontecimientos históricos suscitados en nuestro país.

Gráfica 1. Componente cíclico del PIB, 1960 a 2015



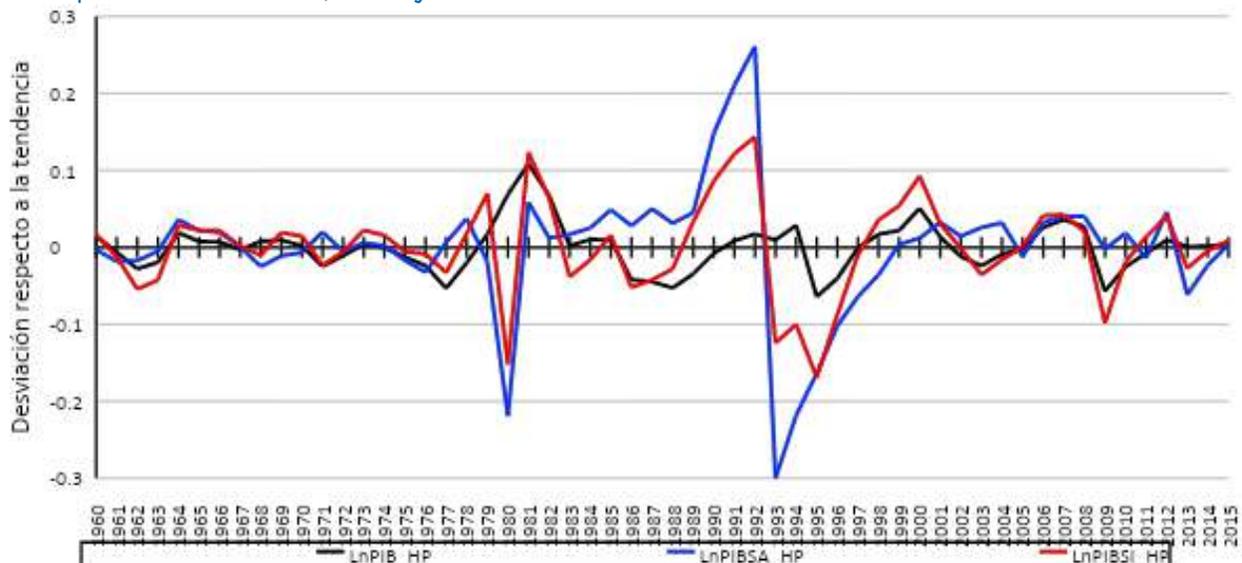
Fuente: Elaboración propia usando STATA

Cuadra (2008:6) señala que, cuando el componente cíclico de una variable presenta un movimiento antes que el PIB, se dice que ésta antecede el ciclo; cuando presenta un cambio después que el PIB, se dice que esta sigue al ciclo; y cuando se mueve en el mismo momento que el PIB se dice que es contemporánea del ciclo económico.

En la Gráfica 2 se presenta el componente cíclico del PIB, PIB del Sector Agropecuario (PIBSA) y el PIB del Sector Industrial Manufacturero (PIBSI) en el periodo de análisis, pudiéndose identificar movimientos que presentaron amplitudes y duraciones de distinta magnitud en el sector agropecuario y el sector industrial manufacturero, denotándose con puntos de inflexión diferentes a lo largo del ciclo económico. El comportamiento del componente cíclico del PIBSA dentro del periodo de análisis nos permite identificar los diferentes episodios que se han suscitado hasta el inicio de la década de los 70, presentando desviaciones respecto a la tendencia no mayores al $\pm 3\%$. Como en el caso del PIB, esto es congruente con el modelo estabilizador. Después de esto podemos distinguir ocho periodos de contracción del componente cíclico del PIBSA: el primero de 1972 a 1976 periodo en el cual se inicia la redefinición de las políticas para el sector agropecuario. Una de las más relevantes el aumento de los precios de garantía para los bienes agrícolas, situación que genero distorsiones dentro de los mercados, forzando al Estado a intervenir subsidiando la venta de los mismos en centros urbanos para tratar de incentivar la demanda que había disminuido

por el establecimiento de precios garantía que afectaban de manera directa el poder adquisitivo de la población. El segundo de 1979 a 1980, siendo este periodo asociado a la crisis de la intervención del Estado ya que no pudo mantener los subsidios a la venta por el alto déficit de las finanzas públicas en el país. El tercero en 1982, reflejando la crisis de la deuda, situación que permeó al sector por la estructura y dependencia del mismo a las transferencias provenientes del Estado. La cuarta fase de contracción, en 1993, se asocia con el proceso de liberación comercial a partir de la firma del Tratado de Libre Comercio en América del Norte (TLCAN), mediante el cual se eliminan las barreras a la importación de bienes agropecuarios y los precios de garantía que hasta el año de 1991 habían existido, llevando a este sector que presentaba grandes rezagos estructurales a incluirse en los mercados internacionales sin estar preparado para entrar a esquemas de mercados competitivos. En el año de 2002 y 2005 se presenta un periodo de contracción que fue propiciado por la fase recesiva en la que se ve inmersa la economía norteamericana, ya que la mayoría de los productos agrícolas exportados tienen como destino este país. Para el año de 2008 este sector se presentó un deterioro en la actividad económica, provocada por la crisis financiera en la economía de Estados Unidos. La última fase se presentó en 2013, cuestión que emana de la desaceleración de la economía de Estados Unidos. Los resultados obtenidos nuevamente presentan congruencia con los acontecimientos suscitados en nuestro país.

Gráfica 2. Componente cíclico del PIB, PIBSA y PIBSI 1960 a 2015



Fuente: Elaboración propia

Para poder analizar el comportamiento de los componentes cíclicos de cada variable se identifican los puntos de inflexión para cada serie, siendo el que se localiza en el punto mínimo antes de comenzar una recuperación el valle y el punto máximo antes de volver a decrecer el pico. A partir de esto, y de acuerdo con los resultados obtenidos, podemos identificar las fases por las que ha transitado la economía mexicana, presentándose estimaciones consistentes con la realidad por la cual ha atravesado el sector agropecuario en México. Las primeras dos contracciones del sector

agropecuario y el sector industrial manufacturero tuvieron una difusión contemporánea, asociado esto al modelo estabilizador existente en nuestro país hasta finales de 1970. En las subsecuentes fases de contracción el sector industrial manufacturero presentó cinco movimientos de difusión contemporánea y dos que antecedieron al ciclo, en cambio el sector agropecuario presentó sólo dos fases contemporáneas, tres fases que siguieron y dos que antecedieron al ciclo. Las fases completas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Fases de contracción del PIB, PIBSA y PIBSI,

PIB	PIBSA	Dirección	PIBSI	Dirección
11960–1962	1960–1961	Contemporáneo	1960–1962	Contemporáneo
1965–1967	1965–1968	Contemporáneo	1965–1968	Contemporáneo
1970–1971	1972–1976	Sigue	1970–1971	Contemporáneo
1974–1977	1979–1980	Sigue	1974–1977	Contemporáneo
1982–1988	1982	Contemporáneo	1980	Antecede
1995	1993	Antecede	1982–1986	Contemporáneo
2001–2003	2002	Sigue	1993–1995	Antecede
	2005	Antecede	2001–2003	Contemporáneo
2008–2009	2008–2009	Contemporáneo	2008–2009	Contemporáneo
2013	2013	Contemporáneo	2013	Contemporáneo

Fuente: Elaboración propia

Al identificar las fases de contracción y recuperación del PIB, PIBSA y PIBSI, se procede a descomponer las series para generar variables dummy que capturen los componentes cíclicos de cada una de las fases. Para determinar la amplitud y la duración promedio de cada fase, se procede a calcular la media y desviación estándar del componente cíclico, siendo esto de suma importancia como lo expone Keynes (1965:280): “la substitución de un impulso descendente por otro ascendente ocurre con frecuencia de modo repentino y violento, mientras que, por regla general no existe un punto de inflexión tan cortante cuando el movimiento ascendente es substituido por la tendencia a bajar”. Dicha afirmación implicaría la existencia de comportamientos asimétricos entre las contracciones y recuperaciones, presentando las contracciones una duración más corta y

severa, en contraste con las recuperaciones, con duración más amplia y crecimiento sostenido.

El PIB en periodos de contracción presentó una duración promedio de 2.88 años, con una media del componente cíclico de -1.10 y desviación estándar de 2.84. El PIBSA presentó en fases de contracción una duración promedio de 2.20 años, con media de -2.87 y desviación estándar de 8.83; el PIBSI tuvo una duración promedio de 2.80 años en fases de contracción, con media de -2.54 y desviación estándar de 5.64. En fases de recuperación, el PIB presentó una duración promedio de 3 años y una media de 0.95; el PIBSA tuvo una duración promedio de 3.77 años, con media de 1.47; el PIBSI mostró una duración promedio de 2.80 años, con media de 2.63. Todos los resultados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de las contracciones y recuperaciones del PIB, PIBSA y PIBSI.

Estadísticas	Contracciones			Recuperaciones		
	PIB	PIBSA	PIBSI	PIB	PIBSA	PIBSI
Duración media [años]	2.88	2.20	2.80	3.00	3.77	2.80
Número de períodos	26	22	28	30	34	28
Media del comp. cíclico	-0.0110578	-0.0287655	-0.025477	0.0095834	0.0147715	0.0263877
Desviación estándar	0.0284873	0.0883606	0.056457	0.0298301	0.0833017	0.0528049

Fuente: Elaboración propia

A partir de las regularidades empíricas presentadas, es posible inferir la existencia de asimetrías dentro de estas dos fases que caracterizan al ciclo económico, debido a que en ninguna de las tres series analizadas las fases son simétricas en duración ni amplitud. La fase de contracción del PIB presenta una media mayor en términos absolutos que la media de la fase de recuperación, situación que también se presente en el caso del PIBSA y del PIBSI.

Al presentarse este tipo de comportamientos en la evidencia empírica obtenida, quedan plasmadas las diferencias estructurales dentro de cada sector y la dinámica de los mismos. Para tratar de corroborar

dichas diferencias, se modelan las fases como estados de cadenas de Markov. Para Mejía (2003a:93), la probabilidad de transición de la matriz de estados se puede interpretar como una medida de la persistencia del estado, en el sentido de que proporciona información acerca de la probabilidad de que la economía continúe en el mismo estado durante el siguiente periodo. Siguiendo este argumento, se determinó si el sector agropecuario y el sector industrial manufacturero pudieran llegar a sincronizarse, en algún período n suficientemente grande, con la economía nacional, siendo el límite para cada matriz de transición en el periodo $n \rightarrow \infty$:

$$A^n_{PIB} = \left[\frac{\frac{9}{26} + \frac{9}{30} \left(-\frac{9}{26} - \frac{9}{30} + 1\right)^n}{\frac{9}{26} + \frac{9}{30}} \quad \frac{\left(\left(-\frac{9}{26} - \frac{9}{30} + 1\right)^n - 1\right) \frac{9}{26}}{\frac{9}{26} + \frac{9}{30}} \quad \frac{\frac{9}{30} \left(-\frac{9}{26} - \frac{9}{30} + 1\right)^n - \frac{9}{30}}{\frac{9}{26} + \frac{9}{30}} \quad \frac{\left(-\frac{9}{26} - \frac{9}{30} + 1\right)^n \frac{9}{26}}{\frac{9}{26} + \frac{9}{30}} \right] \quad (3.4)$$

$$A^n_{PIBSA} = \left[\frac{\frac{10}{22} + \frac{10}{34} \left(-\frac{10}{22} - \frac{10}{34} + 1\right)^n}{\frac{10}{22} + \frac{10}{34}} \quad \frac{\left(\left(-\frac{10}{22} - \frac{10}{34} + 1\right)^n - 1\right) \frac{10}{22}}{\frac{10}{22} + \frac{10}{34}} \quad \frac{\frac{10}{34} \left(-\frac{10}{22} - \frac{10}{34} + 1\right)^n - \frac{10}{34}}{\frac{10}{22} + \frac{10}{34}} \quad \frac{\left(-\frac{10}{22} - \frac{10}{34} + 1\right)^n \frac{10}{22}}{\frac{10}{22} + \frac{10}{34}} \right] \quad (3.5)$$

$$A^n_{PIBSI} = \left[\frac{\frac{10}{28} + \frac{10}{28} \left(-\frac{10}{28} - \frac{10}{28} + 1\right)^n}{\frac{10}{28} + \frac{10}{28}} \quad \frac{\left(\left(-\frac{10}{28} - \frac{10}{28} + 1\right)^n - 1\right) \frac{10}{28}}{\frac{10}{28} + \frac{10}{28}} \quad \frac{\frac{10}{28} \left(-\frac{10}{28} - \frac{10}{28} + 1\right)^n - \frac{10}{28}}{\frac{10}{28} + \frac{10}{28}} \quad \frac{\left(-\frac{10}{28} - \frac{10}{28} + 1\right)^n \frac{10}{28}}{\frac{10}{28} + \frac{10}{28}} \right] \quad (3.6)$$

A partir de estas matrices se determinó el tiempo medio de recurrencia para cada estado. En el caso del PIB, (5) es el tiempo esperado de recurrencia para el estado 1 (de contracción); por otra parte, (6) es el tiempo esperado de recurrencia del estado 0 (en recuperación). Los resultados se presentan a continuación:

$$= \frac{\frac{9}{26} + \frac{9}{30}}{\frac{9}{26}} = 1.866 \quad (5)$$

$$= \frac{\frac{9}{26} + \frac{9}{30}}{\frac{9}{30}} = 2.1538 \quad (6)$$

Para el caso del PIBSA, (7) es el tiempo esperado de recurrencia del estado de contracción para el sector agropecuario, y (8) es el tiempo esperado de recurrencia del estado de recuperación.

$$= \frac{\frac{10}{22} + \frac{10}{34}}{\frac{10}{22}} = 1.6470 \quad (7)$$

$$= \frac{\frac{10}{22} + \frac{10}{34}}{\frac{10}{34}} = 2.5454 \quad (8)$$

Para el PIBSI, (9) es el tiempo esperado de recurrencia del estado de contracción en el sector industrial, y (10) es el tiempo esperado de recurrencia del estado de recuperación.

$$= \frac{\frac{10}{28} + \frac{10}{28}}{\frac{10}{28}} = 2.000$$

$$= \frac{\frac{10}{28} + \frac{10}{28}}{\frac{10}{28}} = 2.000$$

Al modelar los cambios de estado en cada sector como cadenas de Markov, cada una de ellas resulta ser ergódica, ya que todos los estados de cada una de las matrices son recurrentes positivos (tiempo esperado de recurrencia finito), aperiódicos (porque siempre hay una probabilidad positiva de cambiar de estado para el siguiente periodo), y los dos estados están intercomunicados (es seguro que se pasará del estado de contracción al de recuperación en un número finito de periodos, y viceversa). Esto demuestra matemáticamente la persistencia de los ciclos económicos, comprobando lo que afirma Sherman (1991) en una economía capitalista el ciclo económico tendrá una presencia indiscutible, ya que son factores endógenos al sistema económico lo que genera las fluctuaciones.

La evidencia obtenida reporta la existencia de conductas asimétricas en cada una de las fases del ciclo económico, para cada sector respecto a su magnitud y duración, corroborándolo a través de los valores obtenidos del tiempo medio de recurrencia. El tiempo medio de recurrencia de la fase de recuperación en el caso del PIB total es de 2.1538 periodos. Para el caso del PIBSA, es de 2.5454 periodos; mientras que para el PIBSI se obtuvo un valor 2 periodos. Así, tanto el sector agrícola como el de la industria manufacturera presentan una dinámica distinta a la observada para la economía como un todo; principalmente, en las fases de recuperación. En las fases de contracción, el tiempo medio de recurrencia del PIB es de 1.866 periodos, presentándose un menor tiempo medio de recurrencia en el PIBSA (1.6470 periodos) y un mayor tiempo medio de recurrencia para el PIBSI (2 periodos). Así, se demuestra la no existencia de sincronización entre la economía nacional y los sectores analizados en fases de recuperación o contracción. A partir de esto podríamos inferir que el sector agropecuario no reacciona a choques exógenos de la misma manera que responde la economía nacional; estos hechos podrían sugerir que el sector

agrícola no está funcionando bajo esquemas de mercado, presentando comportamientos diferenciados al resto de la economía. En este sentido, Estey (1956) argumenta que la actividad de unidades agropecuarias que viven de la tierra y obtienen escasos excedentes no caen dentro del desarrollo del ciclo económico, siendo afectados por este, pero no estando expuestos de igual manera que el resto de los sectores de la economía.

Estos resultados dependen del supuesto de que no hay cambios estructurales en la economía; pero además de la llamada propiedad de Markov: Que la distribución de probabilidad del estado actual de la economía está determinada solamente por el estado en que se encontraba la economía durante el estado anterior. Los resultados obtenidos podrían cambiar si se eligiera otra manera de modelar los ciclos económicos a través de otro proceso estocástico.

Conclusiones

La evidencia empírica obtenida sugiere la existencia de asimetrías dentro de estas dos fases que caracterizan al ciclo económico, no siendo en ninguna de las tres series analizadas simétricas en duración ni amplitud. En la fase de contracción la economía nacional presenta una media en términos absolutos mayor que la media de la fase de recuperación, situación que también se presenta en el caso del sector agropecuario; sin embargo, esto no se cumple en el caso del sector industrial manufacturero, ya que la media en términos absolutos en la fase de contracción fue menor que en la fase de recuperación de este sector.

Al existir de manera implícita diferencias estructurales dentro de cada sector y la dinámica de los mismos, se modelaron las fases para corroborar dichas diferencias a partir de cambios de estado por cadenas de Markov, lo cual nos permite concluir que el espacio de estados de cada matriz resulta ser ergódica, ya que todos los estados de cada una de las matrices son recurrentes positivos (tiempo esperado de recurrencia finito), aperiódicos (porque siempre hay una probabilidad positiva de cambiar de estado para el siguiente periodo), y los dos estados están intercomunicados (es seguro que se pasará del estado de contracción al de recuperación

en un número finito de periodos, y viceversa]. Lo cual garantiza matemáticamente la existencia de los ciclos económicos, comprobando lo que afirma Sherman (1991) en una economía capitalista el ciclo económico tendrá una presencia indiscutible, ya que son factores endógenos al sistema económico lo que genera las fluctuaciones.

A través de los valores obtenidos del tiempo medio de recurrencia para cada una de las matrices se obtiene evidencia que sugiere el comportamiento distinto en cada fase del ciclo económico; entre los sectores y la economía nacional. En las fases de contracción, el tiempo medio de recurrencia del PIB es de 1.866 periodos, presentándose un menor tiempo medio de recurrencia en el PIBSA (1.6470 periodos) y un mayor tiempo medio de recurrencia para el PIBSI (2 periodos). El tiempo medio de recurrencia de la fase de recuperación en el caso del PIB total es de 2.1538 periodos. Para el caso del PIBSA, es del 2.5454 periodos; mientras que para el PIBSI se obtuvo un valor 2 periodos. Así, tanto el sector agropecuario como el de la industria manufacturera presentan una dinámica distinta a la observada para la economía como un todo; principalmente, en las fases de recuperación. Esta evidencia empírica nos permite demostrar la no existencia de sincronización entre la economía nacional y los sectores analizados en fases de recuperación o contracción, exhibiendo las diferentes dinámicas que presentan cada uno de los sectores y la economía nacional.

De igual manera se encontró evidencia empírica a favor de la hipótesis planteada por Estey (1956), lo cual sugiere que la actividad de unidades agropecuarias que viven de la tierra y obtienen escasos excedentes no caen dentro del desarrollo del ciclo económico, siendo afectados por este, pero no estando expuestos de igual manera que el resto de los sectores de la economía, situación que podría explicada por el cambio en la conducta de una gran parte de los productores pasando a ser minifundistas cuestión que se intensificó con la reforma a la tendencia agraria suscitada en la década de los noventa ya que para el año de 1991 de acuerdo a datos del INEGI el 66.3% de los productores tenían menos de 5 hectáreas, en el año de 2007 pasaron a ser el 72.6%.

Referencias Bibliográficas.

- Artis, M. J., Kontolemis, Z. G. y Osborn, D. R. (1997), "Business Cycles for G7 and European Countries", *The Journal of Business*, vol. 70, no. 2, pp. 249–279.
- Brzezniak, Z., y Zastawniak, T.. (2002). *Basic Stochastic Processes: A Course through Exercises* (4th ed.). London: Springer.
- Burns, A., y Mitchell, W. (1946). "Measuring Business Cycles" National Bureau of Economic research, New York.
- Carrillo, M. (2001). *El sector agropecuario mexicano: antecedentes recientes y perspectivas*. México: IPN.
- Contré, F., y Goldin, I. (1990). "Agriculture and the economic cycle: an economic and econometric analysis with special reference to Brazil", OCDE, Working Paper. 15.
- Cuadra, G. (2008). "Hechos estilizados del ciclo económico en México". Banco de México. Documentos de investigación. 2008–14.
- Díaz, E., y Mendoza, M. (2012). "Crisis y recuperación económica en los estados de la frontera norte. Un análisis de los ciclos económicos". *Estudios Fronterizos*, vol. 3, no. 25, pp. 89–130.
- Escalante, R., y Catalán, H. (2008). "Situación actual del sector agropecuario en México: perspectivas y retos", *Economía Informa*. vol. 350, pp. 7–25.
- Estey, J. (1956). *Business cycles: their nature, cause, and control*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice–Hall.
- Frisch, R. (1933), *Propagation Problems and Impulse Problems in Dynamic Economics*, en K. Koch, ed., 'Economic Essays in Honour of Gustav Cassel', Allen & Unwin, London, pp. 171–205.
- Gujarati, D., y Porter, D. (2010). *Econometría* (5ª ed.). México: McGraw–Hill.
- Hodrick, R., y Prescott, . (1997). "Postwar U.S. business cycles: an empirical investigation". *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 29, no. 1, 1–16.
- Keynes, J. (1965). *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero* (7ª ed.). México: Fondo de Cultura Económica.

- Kydland, F. E. & Prescott, E. C. (1982), "Time to Build and Aggregate Fluctuations", *Econometrica*, vol. 50, no. 6, pp. 1345-1370.
- Long, J. y Plosser, C. (1983), "Real Business Cycles", *Journal of Political Economy*, vol. 91, no. 1, pp. 39-69.
- Lucas, R. (1977). "Understanding business cycles". *Cornegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, vol. 5, pp. 7-29.
- Mejía, P. (2003a). No linealidades ciclos económicos en América Latina. Toluca: El colegio mexiquense.
- Mejía, P. (2003b). Regularidades empíricas en de los ciclos económicos de México: producción, inversión, inflación y balanza comercial. *Economía Mexicana*, vol. 12, no. 2, pp. 231-274.
- Nelson, C., y Plosser, C. (1982). "Trends and random walks in macroeconomic time series. Some evidence and implications". *Journal of Monetary Economics*, vol. 10, no. 2, pp.139-162.
- Sherman, H. (1991). *The business cycle: growth and crisis under capitalism*. Princeton University Press.
- Slutsky, E. (1937). "The summation of random causes as the source of cyclic processes. *Econométrica*, vol. 5, no. 2, pp. 105-146.
- Zuccardi, I. (2002). "Los ciclos económicos regionales en Colombia 1986-2000". *Centro de estudios económicos regionales. Banca de la Republica*, 25.





RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL Y EL DESEMPEÑO ORGANIZACIONAL EN LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN.

RELATIONSHIP BETWEEN ORGANIZATIONAL STRUCTURE AND ORGANIZATIONAL PERFORMANCE IN PUBLIC RESEARCH CENTERS.

Nava-Galván Claudia E. ^{1*}, Pastrana- Palma Alberto ¹, Morgan- Beltrán Josefina ¹.

¹ Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Querétaro

* Autor de correspondencia: e.nava.galvan@gmail.com

Resumen

Aunque se considera que la implementación de conceptos administrativos es muy importante para el desempeño de una organización, hasta ahora ha habido poca investigación sobre posibles enfoques para medir, monitorear y analizar la relación entre estos conceptos y el desempeño organizacional. Asimismo, existen barreras para incluir indicadores de las prácticas y cambios organizacionales en los procesos de recolección de datos empíricos en encuestas nacionales. Es así, que en esta investigación se muestra que los conceptos administrativos también tienen un impacto en la productividad de las organizaciones. Se utilizó una metodología cuantitativa longitudinal a través de datos de los Centros Públicos de Investigación, de panel de diez años (2010-2019), analizados mediante regresión lineal, con efectos fijos. Los principales resultados muestran que los efectos de las variables estructurales sobre la productividad de los Centros no son necesariamente iguales a los obtenidos en otros estudios. Entre las variables estructurales que tuvieron un efecto positivo en la productividad se encuentran la intensidad administrativa, la diversificación funcional y la especialización. Mientras que, las variables estructurales que tuvieron un efecto negativo fueron la diversificación vertical y la descentralización. Por lo tanto, los presentes hallazgos indican la inestabilidad de los resultados entre diferentes investigaciones en este tema. Estos hallazgos brindan información para el seguimiento y evaluación del sistema organizacional en los Centros. Asimismo, esta investigación permite proveer nueva evidencia en el campo de la estructura organizacional enfocada a organizaciones de servicios.

Palabras clave: : *desempeño organizacional, estrategias organizacionales, productividad, y variables estructurales.*

Abstract

Although the implementation of management concepts is very important to an organization's performance, there has been little research so far on possible approaches to measure, monitor, and analyze the relationship between these concepts and organizational performance. Likewise, there are barriers to include indicators of organizational practices and changes in the empirical data collection processes in national surveys. Thus, this research shows that administrative concepts have also an impact on the productivity of organizations. A longitudinal quantitative methodology was used through ten-year panel data (2010-2019) from Public Research Centers, analyzed by linear regression with fixed effects. The main results show that the effects of the structural variables on the productivity of the Centers are not necessarily the same as in other studies. Among the structural variables that had a positive effect on productivity, are administrative intensity, functional diversification, and specialization. While the structural variables that had a negative effect are vertical diversification and decentralization. Therefore, the present findings indicate the instability of the results between different investigations on this topic. These findings provide information for the monitoring and evaluation of the organizational system in the Centers. Likewise, this research allows us to provide new evidence in the field of organizational structure focused on service organizations.

Keywords: *organizational performance, organizational strategies, productivity, and structural variables.*

1. Introducción

Una de las decisiones iniciales y más importantes que deben tomarse en la creación de una organización es el diseño organizacional, que se refiere a la estructura organizacional relacionada con un sistema de autoridad, responsabilidades, flujo de información, mecanismos de evaluación y coordinación. Por lo que puede esperarse que el diseño organizacional sea una variable determinante para el buen desempeño de una organización (Carleton Athey y Stern, 1998; Mintzberg, 1979).

En términos generales, el desempeño de las organizaciones está determinado por el éxito de la venta de productos y/o servicios en el mercado (Shahzad et al., 2012). En este trabajo, se estudian las variables de estructura organizacional en los Centros Públicos de Investigación y la relación con su desempeño.

1.1. Intensidad Administrativa

La intensidad administrativa de una organización se define como el número de gerentes, profesionales y trabajadores administrativos dividido por el número de personal operativo (Pondy, 1969). Es una relación entre el número de empleados que ocupan cargos administrativos en relación con el resto de la población de la organización (Astley, 1985; Blau, 1970; Mckinley, 1987).

Algunos estudios de administración sugieren que una mayor burocracia dentro de una organización está relacionada con la ineficiencia y los niveles más bajos de desempeño (Bidwell y Kasarda, 1975), ya que afirman que el personal dedicado a las actividades administrativas tiene una baja interacción diaria con las actividades de producción al dedicar su tiempo a recopilar y analizar indicadores cuantitativos que pueden tener un valor dudoso para medir el desempeño. Por el contrario, el personal no administrativo se concentra en hacer el trabajo para producir los bienes o servicios y mejorar el desempeño (Meier y Bohte 2001).

Sin embargo, otros estudios han concluido que dependiendo de cómo se mida el desempeño, se asociará positiva o negativamente con la intensidad administrativa (Smith y Larimer 2004). Estos estudios plantean la hipótesis de que la burocracia puede funcionar para abordar los problemas de coordinación y control al liberar a los empleados de primera línea para que se concentren en las necesidades inmediatas (Meier, Polinard y Wrinkle

2000; Pondy, 1969). Por lo planteado anteriormente se formula la siguiente hipótesis:

H_1 : La intensidad administrativa tiene un efecto positivo en la productividad de los Centros.

1.2. Diferenciación Vertical

La diferenciación vertical se define como el número de niveles jerárquicos (Meer, 1972). Es el número de puestos de trabajo diferentes entre la parte superior e inferior de la estructura de autoridad de una organización (Mileti et al. 1977; Rushing, 1967). Los fundamentos teóricos sostienen que el aumento de los niveles jerárquicos dificulta la comunicación y coordinación entre niveles e inhibe el flujo de ideas innovadoras (Hull y Hage, 1982), por lo que puede tener un impacto negativo en los indicadores de desempeño. Por lo planteado anteriormente, se formula la siguiente hipótesis:

H_2 : La diferenciación vertical tiene un efecto negativo en la productividad de los Centros.

1.3. Diferenciación Funcional

La diferenciación funcional u horizontal se explica como el número de subunidades, número de divisiones o departamentos de una organización (Meer, 1972; Mileti et al. 1977). La hipótesis teórica afirma que el aumento en la diferenciación funcional aumenta las coaliciones de profesionales y hace que elaboren e introduzcan cambios en los sistemas técnicos e influyan en los cambios de los sistemas administrativos (Baldridge y Burnham, 1975) mejorando el desempeño en las organizaciones. Por ello, se incluye la siguiente hipótesis a la investigación:

H_3 : La diferenciación funcional tiene un efecto positivo en la productividad de los Centros.

1.4. Especialización

La especialización es una medida en que todo el trabajo diferenciado y diversificado funciona sobre la base de habilidades especializadas que requieren altos niveles de experiencia (Samuel y Mannheim, 1970). Este nivel de especialización de un trabajo está determinado por el tiempo de formación de los participantes, reconociendo que el incentivo para invertir en capital humano en una actividad en particular está relacionado positivamente con el tiempo dedicado a esa actividad (Baumgardner, 1988; Becker, 1985; Becker y Murphy, 1992; Samuel y Mannheim, 1970).

La importancia de la especialización del trabajo como fuente de bienestar económico se ha centrado en distintas fuentes de beneficios económicos (Baumgardner, 1988a, 1988b; Matsui y Postlewaite, 2000). La primera, se refiere a las economías de escala, ya que la división de un trabajo complejo en tareas más simples permite que estas inversiones produzcan rendimientos crecientes y, por lo tanto, proporcionen un incentivo para la división del trabajo al alentar, a miembros idénticos, a especializarse (Becker, 1985; Rosen, 1978a, 1982b, 1983c).

La segunda fuente de beneficios de la especialización se basa en asignar a los trabajadores, con habilidades específicas, a tareas para las que tienen una ventaja comparativa (Matsui y Postlewaite, 2000). Otro beneficio económico es que la división del trabajo aumenta la productividad porque el rendimiento del tiempo dedicado a cada tarea suele ser mayor (Becker y Murphy, 1992). De esta manera, asignar personal con nivel superior de especialización a los puestos más altos aumenta la productividad (Rosen, 1982).

La mayor parte de los estudios empíricos muestran que una mayor variedad de especialistas proporciona un conocimiento más amplio (Kimberly y Evanisko, 1981), crean un entorno apropiado para la creatividad y aumentan la fertilización cruzada de ideas (Aiken y Hage, 1971). También, manifiestan la importancia de la especialización en el desarrollo, implementación de nuevas ideas, y mejoran la adaptabilidad de la organización a su entorno y la productividad (Evan y Black, 1967; Palumbo, 1969; Aiken y Hage, 1971; Hage y Aiken, 1969; Baldrige y Burnham, 1973; Hage y Dewar, 1973; Paolillo y Brown, 1978; Kimberly y Evanisko, 1981).

Por lo planteado anteriormente, se formula la siguiente hipótesis:

H_4 : La especialización del personal tiene un efecto positivo en la productividad de los Centros.

1.5. Centralización

La literatura ha definido la centralización desde dos perspectivas. La primera, la distribución de poder para tomar decisiones políticas o laborales (Carter et al., 1994, Hage y Aiken, 1967; Van de Ven y Ferry, 1980), identificando al poder como la capacidad de un individuo para hacer que otro individuo cambie de alguna manera (Van de Ven y Ferry, 1980). La segunda afirma que la centralización

es el grado en que la autoridad formal tiene influencia sobre la toma de decisiones, esta relación descansa en los niveles más altos de una organización (Carter et al., 1994; Culebro, 1998; Bruns y Waterhouse, 1975; Evan, 1963; Hodge y Anthony, 2003; Mark, 1985; Fry y Slocum, 1984; Pugh et al., 1963).

La centralización se caracteriza por determinar, derivado de las jerarquías formales, quién tiene derecho a tomar decisiones en la organización (Mark, 1985; Fry y Slocum, 1984). Esta perspectiva incluye el alcance de control (Blau, 1970; Whisler et al., 1967), el número de niveles de supervisión y la proporción de personal supervisor (Melman, 1958).

Cuanto mayor sea el número de niveles de supervisión y más amplio el alcance del control, mayor será la distribución de autoridad en muchos puestos. Cuanto más estrechos son los intervalos de control en cada nivel, más concentrada es la autoridad en el supervisor. Por tanto, el organigrama representa la estructura de poder y autoridad designada formalmente (Van de Ven y Ferry, 1980).

En este sentido, algunas investigaciones afirman que la centralización perjudica el desempeño de la organización al evitar que los empleados de niveles inferiores tomen decisiones independientes, consagrando reglas y procedimientos inflexibles y socavando la capacidad de respuesta a las circunstancias ambientales cambiantes (Andrews et al., 2009).

Con una alta centralización existe la posibilidad de que se empleen políticas uniformes y pueden ignorar las características y los problemas de las divisiones y unidades de trabajo, conduciendo a demoras en el proceso decisorio debido al flujo de información de la cúspide a la base (Andrews et al., 2009; Moynihan y Pandey, 2005; Fiedler y Gillo, 1974).

Mientras que la descentralización permite a los empleados, no sólo compartir la toma de decisiones sobre las tareas del equipo, sino también involucrarse en decisiones más generales como el diseño de nuevos métodos de trabajo y la implementación de nuevos procesos de trabajo en toda la organización (Hempel et al., 2012) y de esta manera, aumentar las competencias colectivas (Vargas-Hernández, 2011). Por lo anterior se plantea la siguiente hipótesis:

H_5 : La centralización tiene un efecto negativo en la productividad de los Centros.

2. Método

Para analizar el efecto de las variables de la estructura organizacional (intensidad administrativa, diferenciación vertical, diferenciación funcional, especialización y centralización) sobre la productividad de los Centros se estimó un modelo de panel de efectos fijos y un modelo de panel de efectos aleatorios, este último para probar si los efectos fijos eran sistemáticamente diferentes o simplemente aleatoriamente diferentes de un Centro a otro. Se realizó la prueba de Hausman para determinar si el modelo de efectos fijos era preferible al modelo de efectos aleatorios. Se rechazó la hipótesis nula que afirma que la diferencia de coeficientes no es sistemática. Esto indicó que el modelo de efectos fijos era el modelo adecuado.

Debido a que la correlación serial en los modelos lineales de datos de panel sesga los errores estándares y hace que los resultados sean menos eficientes, se realizó la prueba de Wooldridge (2000) para identificar este problema. Se rechazó la hipótesis nula de esta prueba que indica que no existe autocorrelación. Por lo cual, se incluyó en el modelo de efectos fijos el término autorregresivo de grado 1 (AR1) que controla la dependencia de t con respecto a $t-1$.

Ahora bien, en muchos conjuntos de datos de panel, la variación entre las unidades transversales puede diferir. Entre las razones responsables de este fenómeno, se pueden citar diferencias, en la escala de la variable dependiente, entre unidades. En consecuencia, realizaremos una prueba de Wald modificada para detectar la existencia de heterocedasticidad grupal en

los residuos de las regresiones de efectos fijos. Bajo la hipótesis nula, la varianza del error es la misma para todos los Centros. No se rechazó la hipótesis nula de la prueba modificada de Wald para heterocedasticidad por lo cual el modelo no presenta problemas de heteroscedasticidad.

Ya que, en la literatura de datos de panel se concluye que es probable que los modelos de datos de panel muestren una dependencia transversal sustancial en los errores, lo que puede surgir debido a la presencia de choques comunes y componentes no observados, que finalmente se convierten en parte del término de error, dependencia espacial y dependencia idiosincrásica por pares en las perturbaciones sin un patrón particular de componentes comunes o dependencia espacial (De Hoyo y Sarafidis, 2006), se realizó la prueba de Breusch y Pagan (Pesaran, 2004) para identificar la correlación contemporánea en los residuales del modelo de efectos fijos. La hipótesis nula no fue rechazada. Por lo que se concluye que no existe correlación contemporánea.

El problema de autocorrelación que se examinó se solucionó, conjuntamente con estimadores de Errores Estándar Corregidos para Panel (Panel Corrected Standard Errors) (Beck y Katz, 1995).

Para la variable dependiente de desempeño organizacional de los Centros, se toma como productividad, de acuerdo con la Ley de Ciencia y Tecnología en el Capítulo IX (LCyT, 2013). En esta Ley se establece que los Centros serán evaluados conforme a los convenios de administración por resultados (CAR). Dentro de tal convenio se establecen los criterios e indicadores de desempeño (Tabla 1)

Tabla 1. Indicadores de evaluación CAR de los Centro Públicos de Investigación

Categoría	Indicador	Formula
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA	Generación de conocimiento de calidad	NPA/NPI NPA: Número de publicaciones arbitradas NI: Número de investigadores del Centro
	Proyectos externos por investigador	NPIE/NI NPIE: Número de proyectos de investigación financiados con recursos externos NI: Número de investigadores del Centro

FORMACIÓN DE CAPITAL HUMANO	Calidad de los posgrados	$\frac{[NPRC+2NPED+3NPC+4NPCI]}{4*NPP}$ <p>NPRC: Número de programas registrados en el PNPC de reciente creación NPED: Número de programas registrados en el PNPC en desarrollo NPC: Número de programas registrados en el PNPC consolidado NPCI: Número de programas registrados en el PNPC de competencia internacional NPP: Número de programas de posgrado reconocidos por CONACYT en el PNPC</p>
	Generación de recursos humanos especializados	$\frac{[NGPE+NGPM+NGPD]}{NI}$ <p>NGPE: Número de alumnos graduados en programas de especialidad del PNPC NGPM: Número de alumnos graduados en programas de maestría del PNPC NGPD: Número de alumnos graduados en programas de doctorado del PNPC NI: Número de investigadores del Centro</p>
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN	Proyectos interinstitucionales	$\frac{NPPI}{NPI}$ <p>NPPI: Número de proyectos interinstitucionales NPI: Número de proyectos de investigación</p>
	Transferencia de Conocimiento	$\frac{NCTF^n}{NCTF^{n-1}}$ <p>NCTF: Número de contratos o convenios de transferencia de conocimiento, innovación tecnológica, social, económica o ambiental firmados vigentes alineados al PECITI en el año "n" NCTFⁿ⁻¹: Número de contratos o convenios de transferencia de conocimiento, innovación tecnológica, social, económica o ambiental firmados vigentes alineados al PECITI en el año "n-1"</p>
	Propiedad industrial solicitada	$\frac{[NSP + NSMU + NSDI]^n}{[NSP + NSMU + NSDI]^{n-1}}$ <p>NSP: Número de solicitudes de patentes NSMU: Número de solicitudes de modelos de utilidad NSDI: Número de solicitudes de diseños industriales n: Año NSP: Número de solicitudes de patentes NSMU: Número de solicitudes de modelos de utilidad NSDI: Número de solicitudes de diseños industriales n-1: Año anterior</p>

	Propiedad industrial licenciada	NPL / NPR NPL: Número de patentes licenciadas NPR: Número de patentes registradas
	Propiedad Intelectual	NDA "n" /NDA "n-1" NDA: Número de derechos de autor n: Año n-1: Año anterior
DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN	Actividades de divulgación por personal de C y T	NADPG / NPCyT NADPG: Número actividades de divulgación dirigidas al público en general NPCyT: Número personal de ciencia y tecnología
GESTIÓN PRESUPUESTAL	Índice de sostenibilidad económica	MIP / MPT MIP: Monto de ingresos propios MPT: Monto de presupuesto total del centro
	Índice de sostenibilidad económica para la investigación	MTRE / MTRF MTRE: Monto Total obtenido por proyectos de investigación financiados con recursos externos MTRF: Monto total de recursos fiscales destinados a la investigación

Fuente: Elaboración propia con base en CONACYT (2015).

Nota: Los indicadores son establecidos por el Consejo de Ciencia y Tecnología, y así requeridos a cada Centro para su evaluación a través del Convenio de administración por resultados.

3. Resultados

Los resultados de las regresiones se presentan en la Tabla 2.

3.1. Intensidad Administrativa

El resultado de la relación entre la variable productividad e intensidad administrativa, fue positivo y estadísticamente

significativo ($\beta=0.239$, $p<0.1$, $R^2=0.0446$). Este resultado confirma la hipótesis H_1 : La Intensidad Administrativa tiene un efecto positivo en la productividad de los Centros, y plantea que la burocracia puede funcionar para abordar los problemas de coordinación y control al liberar a los empleados de primera línea para que se concentren en las necesidades inmediatas (Daft y Becker, 1978; Damanpour, 1987; Meier, Polinard y Wrinkle 2000; Pondy, 1969).

Tabla 2. Intensidad Administrativa y Productividad

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Intensidad Administrativa	0.239* [0.309]				
Diferenciación Vertical		-0.307* [0.801]			
Diferenciación Funcional			3.882** [1.514]		
Especialización				9.680* [4.927]	
Centralización					44.250* [35.857]
Edad	-2.105*** [0.196]	-2.051*** [0.191]	-2.173*** [0.190]	-2.417*** [0.261]	-1.947*** [0.200]
Tamaño					
Mediana	3.762 [3.110]	3.863 [3.149]	3.710 [3.070]	2.208 [3.067]	3.674 [3.046]
Grande	4.544 [3.813]	4.728 [3.884]	4.849 [3.765]	3.344 [3.702]	4.376 [3.741]
_cons	158.791*** [8.806]	168.064*** [7.129]	140.575*** [9.376]	136.441*** [13.162]	156.447*** [7.856]
Obs.	209	209	209	209	209
R2	0.0446	.0530	.0245	0.0333	0.0465
Centro dummy	SI	SI	SI	SI	SI
Año dummy	SI	SI	SI	SI	SI

Los errores estándar están entre paréntesis

Nivel de significancia *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

Nota: No se informan los coeficientes de las variables ficticias anuales ni las variables ficticias de los Centros.

3.2. Diferenciación Vertical

Diferenciación Vertical

El resultado de la relación entre productividad y diferenciación vertical fue negativo y estadísticamente significativo ($\beta = -0.307$, $p < 0.1$, $R^2 = 0.053$). Este resultado confirma lo previsto en la hipótesis H_2 : La Diferenciación Vertical tiene un efecto negativo en la productividad de los Centros, ya que los fundamentos teóricos sostienen que el aumento de los niveles jerárquicos dificulta la comunicación y coordinación entre niveles e inhibe el flujo de ideas innovadoras (Hull y Hage, 1982).

3.3. Diferenciación Funcional

El resultado de la regresión entre productividad y diferenciación funcional fue positiva y estadísticamente significativo ($\beta = 3.882$, $p < 0.05$, $R^2 = 0.0245$). Este resultado acepta la hipótesis teórica H_3 : La Diferenciación Funcional tiene un efecto positivo en la productividad de los Centros, afirmando que el aumento en la diferenciación funcional aumenta las coaliciones de profesionales y hace que elaboren e introduzcan cambios en los sistemas técnicos e influyan en los cambios de los sistemas administrativos (Baldrige y Burnham, 1975).

3.4. Especialización

En diferentes estudios, la medición del grado o índice de especialización en una organización se han utilizado distintos procedimientos. Por ejemplo, Hage y Aiken (1967) desarrollaron tres índices de complejidad organizativa (número de especialidades ocupacionales, grado de formación profesional y grado de actividad profesional). Samuel y Mannheim (1970) utilizaron la proporción de trabajos especializados frente a los simplificados como indicador de especialización promedio. Tyler (1973) tomó el tiempo de formación promedio requerido para todas las categorías ocupacionales de una organización como el índice de especialización. Baumgardner (1988b) utilizó información sobre las actividades diferentes que cada personal realizó durante cierto tiempo para conocer qué tan especializado está en su sector.

Para esta investigación se utilizó el índice de especialización basado en la fórmula desarrollada por Labovitz y Gibbs (1964):

$$D = 1 - \frac{\sum x^2}{(\sum x)^2} \quad (1)$$

Donde, D = división del trabajo, x = número de personas en cada ocupación, N = número de ocupaciones/categorías. Aunque el valor mínimo de D para cualquier distribución es siempre 0, el valor máximo depende del número de ocupaciones. Para poder hacer comparaciones entre los Centros se ajustó esta variación al dividir D por el valor máximo de la distribución. El valor máximo es $1 - 1/N$, donde N es igual al número de ocupaciones, por lo que el cociente revela el grado de división del trabajo en relación con el máximo. La fórmula queda como sigue:

$$D = \left(1 - \frac{\sum x^2}{(\sum x)^2}\right) / \left(1 - \frac{1}{N}\right) \quad (2)$$

Además, se agregaron ponderaciones a cada categoría de trabajo (y), para incluir el cambio en el número de personal en cada categoría (A), ya que, si el número total de trabajadores no cambia en el transcurrir del tiempo, se asume que los empleados han cambiado de categoría, probablemente subiendo a niveles de especialización más altos.

$$A = \frac{\sum \left(\left(\frac{x}{\sum x_i} \right)^* 100 \right)^* y}{100} \quad (3)$$

Donde, A = cambio del personal, x = número de personas en cada ocupación, y = ponderaciones, i = año base 2010.

$$I = \left(1 - \frac{\sum A^2}{(\sum x)^2}\right) / \left(1 - \frac{1}{N}\right) \quad (4)$$

Donde, I = índice de especialización, A = cambio del personal, x = número de personas en cada ocupación, N = número de ocupaciones/categorías. Este indicador proporciona una cuantificación adecuada de la especialización de los Centros.

Los resultados de las regresiones de la especialización sobre la productividad fueron positivas y estadísticamente significativas ($\beta=9.680$, $p<0.1$, $R^2=0.0333$). Con lo que se acepta la hipótesis de investigación H4: La Especialización tiene un efecto positivo en la productividad de los Centros.

3.5. Centralización

Existen diferentes indicadores para medir la centralización. Entre ellos se encuentra representado por la jerarquía de autoridad y el grado de participación en la toma de decisiones (Hage y Aiken, 1967), ya que estos aspectos de la estructura reflejan la distribución del poder en toda la organización (Andrew et al. 2009). La jerarquía de autoridad se refiere al grado de toma de decisiones que se ejerce en los niveles superiores de la jerarquía organizacional (cómo se distribuye el poder entre las posiciones sociales), mientras que la participación en la toma de decisiones se refiere al grado de participación del personal en la determinación de la política organizacional (Hage y Aiken, 1967).

Otras medidas para determinar la centralización se basan en el control ejercido, ya sea a través de (Whisler, 1964 mencionado en Whisler et al. 1967):

- Compensación individual (control individual sobre los resultados del sistema organizativo. Control basado en la compensación que paga la organización al individuo).
- Percepciones de influencia interpersonal registradas por cuestionario (control percibido como influencia interpersonal o la influencia percibida entre los miembros)
- Alcance del control en la organización formal (control como la influencia planificada formalmente de los miembros de la organización unos sobre otros en sus roles como superiores y subordinados).

Para esta investigación el índice de centralización se basa la compensación individual, utilizando la fórmula

desarrollada por Whisler (1964):

$$C = \frac{\sum X^*y}{\sum Y} \quad (5)$$

Donde, C = Control, x = Número de trabajadores en cada categoría de trabajo, y = compensación monetaria individual. El valor máximo de C es 1 positivo.

Las categorías que se tomaron en cuenta fueron aquellas que dentro de la estructura organizacional cuentan con nombramiento de: Director General/Presidente, Director de área, Subdirector, Secretario General, Director Administrativo, Titular del Órgano Interno de Control, Jefe de Departamento, Jefe de Servicios Especializados, Coordinador, Supervisor y Administrador Ejecutivo. Para la compensación individual se obtuvieron los salarios anuales para cada individuo en cada categoría. Estos salarios se utilizaron como datos de compensación, ignorando los elementos marginales (no se incluyeron bonificaciones ni pagos de incentivos).

El resultado de la regresión entre productividad y centralización fue positivo y estadísticamente significativa $\beta=44.250$, $p<0.1$, $R^2=0.0465$, por lo que se rechaza la hipótesis H5: La centralización tiene un efecto negativo en la productividad de los Centros.

Esto podría explicarse, ya que algunos estudios empíricos confirman que la centralización de la toma de decisiones es positiva en la productividad o competitividad de las organizaciones (Evan y Black, 1967; Kimberly y Evanisko, 1981). También, estos estudios destacan que, en cierto tipo de organización, la centralización impulsa la innovación, mientras que en otras la obstruye. Miller (1982) encontró que esta relación variaba en magnitud y dirección de acuerdo con el camino evolutivo o de desarrollo que estaba siguiendo la organización.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación proporcionan información para el seguimiento y evaluación del sistema organizacional en los Centros Públicos de Investigación. Asimismo, aporta nueva evidencia en el campo de variables estructurales, enfocada a organizaciones de servicios. En este sentido, la evidencia empírica logra tener una mejor comprensión de las relaciones entre estas variables con la productividad de los Centros, para el desarrollo de estrategias institucionales y la formulación de políticas organizacionales.

También, se destaca que este trabajo investigó un conjunto de variables, que generalmente se estudian por separado, lo cual limita la explicación para la variable dependiente. Además, se utilizó una medida significativa de productividad como indicador de desempeño, debido a que esta medida es impuesta legalmente por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, lo que da legitimidad a los resultados.

De esta manera, los resultados complementan la creciente evidencia generada por los investigadores de la gestión pública sobre el vínculo entre las variables estructurales y el desempeño (por ejemplo, Meier y Bohte 2000; Meier y O'Toole 2001). Es evidente que esta investigación es solamente un comienzo para el estudio de estas variables; sin embargo, puede considerarse una contribución al conocimiento sobre este tema.

Como consecuencia de lo expuesto, los resultados de esta investigación también sugieren direcciones para futuras investigaciones. Por un lado, al identificar que el tamaño y la edad de los Centros toman importancia para cada variable estructural, tanto individual como en conjunto. Por otro lado, incluir la diferenciación de actividades entre los Centros, característica que podría ser determinante para facilitar o dificultar la configuración del sistema organizacional y cambiar los resultados de las variables estructurales sobre la productividad. Por último, investigaciones sobre la dirección de estas variables de acuerdo con el ciclo de vida de los Centros.

Referencias bibliográficas

- Aiken, M., y Hage, J. (1971). The organic organization and innovation. *Sociology*, 5(1), 63-82. DOI: <https://doi.org/10.1177/003803857100500105>
- Andrews, R., Boyne, G. A., Law, J., & Walker, R. M. (2009). Centralization, organizational strategy, and public service performance. *Journal of public administration research and theory*, 19(1), 57-80. DOI: <https://doi.org/10.1093/jopart/mum039>
- Astley, W. G. (1985). Organizational size and bureaucratic structure. *Organization Studies*, 6(3), 201-228. DOI: <https://doi.org/10.1177/017084068500600301>
- Baldrige, J. V., & Burnham, R. (1973). The Adoption of Innovations: The Effect of Organizational Size, Differentiation, and Environment. Disponible en:

- <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED077147.pdf>
- Barrón-Arreola, K. S., Y Madera-Pacheco, J. A. (2010). Especialización y productividad del sector servicios en Nayarit, 1980-2003. *Economía, sociedad y territorio*, 10(33), 455-484. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/est/v10n33/v10n33a6.pdf>
- Baumgardner, J. R. (1988a). Physicians' services and the division of labor across local markets. *Journal of Political Economy*, 96(5), 948-982. DOI: <https://doi.org/10.1086/261571>
- Baumgardner, J. R. (1988b). The division of labor, local markets, and worker organization. *Journal of Political Economy*, 96(3), 509-527. DOI: <https://doi.org/10.1086/261549>
- Beck, N., & Katz, J. N. (1995). What to do (and not to do) with time-series cross-section data. *American political science review*, 634-647. DOI: <https://doi.org/10.2307/2082979>
- Becker, G. S. (1985). Human capital, effort, and the sexual division of labor. *Journal of labor economics*, 3(1, Part 2), S33-S58. DOI: <https://doi.org/10.1086/298075>
- Becker, G. S., & Murphy, K. M. (1992). The division of labor, coordination costs, and knowledge. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(4), 1137-1160. DOI: <https://doi.org/10.2307/2118383>
- Bidwell, C. E., & Kasarda, J. D. (1975). School district organization and student achievement. *American Sociological Review*, 55-70. DOI: <https://doi.org/10.2307/2094447>
- Blau, P. M. (1970). A formal theory of differentiation in organizations. *American sociological review*, 201-218. DOI: <https://doi.org/10.2307/2093199>
- Bruns, W. J., & Waterhouse, J. H. (1975). Budgetary control and organization structure. *Journal of accounting research*, 177-203. DOI: <https://doi.org/10.2307/2490360>
- Carter, N. M., Hoffman, J. J., & Cullen, J. B. (1994). The effects of computer technology and decision-making structure on organizational performance: A dual-core model approach. *The Journal of High Technology Management Research*, 5(1), 59-76. DOI: [https://doi.org/10.1016/1047-8310\(94\)90014-0](https://doi.org/10.1016/1047-8310(94)90014-0)
- Carleton Athey, Susan and Stern, Scott, An Empirical Framework for Testing Theories About Complimentarity in Organizational Design (June 1998). NBER Working Paper No. w6600, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=226323>
- Culebro Moreno, J. E. (1998). Cambio organizacional: transformación y diseño estructural. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11651/4096>
- Daft, R. L. (1978). A dual-core model of organizational innovation. *Academy of management*. DOI: <https://doi.org/10.2307/255754>
- Damanpour, F., & Evan, W. M. (1984). Organizational innovation and performance: the problem of "organizational lag". *Administrative science quarterly*, 392-409. DOI: <https://doi.org/10.2307/2393031>
- De Hoyos, R. E., & Sarafidis, V. (2006). Testing for cross-sectional dependence in panel-data models. *The stata journal*, 6(4), 482-496. DOI: <https://doi.org/10.1177/1536867X0600600403>
- Evan, W. M., & Black, G. (1967). Innovation in business organizations: some factors associated with success or failure of staff proposals. *The journal of Business*, 40(4), 519-530. DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/295016>
- Fiedler, F. E., & Gillo, M. W. (1974). Correlates of performance in community colleges. *The Journal of Higher Education*, 45(9), 672-681. DOI: <https://doi.org/10.1080/00221546.1974.11777018>
- Fry, L. W., & Slocum Jr, J. W. (1984). Technology, structure, and workgroup effectiveness: A test of a contingency model. *Academy of management journal*, 27(2), 221-246. DOI: <https://doi.org/10.5465/255923>
- Hage, J., & Aiken, M. (1967). Relationship of centralization to other structural properties. *Administrative Science Quarterly*, 72-92. DOI: <https://doi.org/10.2307/2391213>
- Hage, J., & Aiken, M. (1969). Routine technology, social structure, and organization goals. *Administrative science quarterly*, 366-376. DOI: <https://doi.org/10.2307/2391132>
- Hage, J., & Dewar, R. (1973). Elite values versus organizational structure in predicting innovation. *Administrative science quarterly*, 279-290. DOI: <https://doi.org/10.2307/2391664>
- Hempel, P. S., Zhang, Z. X., & Han, Y. (2012). Team empowerment and the organizational context: Decentralization and the contrasting effects of

- formalization. *Journal of management*, 38(2), 475-501. DOI: <https://doi.org/10.1177/0149206309342891>
- Hodge, B., & Anthony, W. G. L. (2003). Teoría organizacional, un enfoque estratégico.
- Hull, F., & Hage, J. (1982). Organizing for innovation: Beyond Burns and Stalker's organic type. *Sociology*, 16(4), 564-577. DOI: <https://doi.org/10.1177/0038038582016004006>
- Kimberly, J. R., & Evanisko, M. J. (1981). Organizational innovation: The influence of individual, organizational, and contextual factors on hospital adoption of technological and administrative innovations. *Academy of management journal*, 24(4), 689-713. DOI: <https://doi.org/10.2307/256170>
- Labovitz, S., & Gibbs, J. P. (1964). Urbanization, technology, and the division of labor: Further evidence. *Pacific Sociological Review*, 7(1), 3-9. DOI: <https://doi.org/10.2307/1388460>
- Mark, B. (1985). Task and structural correlates of organizational effectiveness in private psychiatric hospitals. *Health Services Research*, 20(2), 199. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1068875/pdf/hsresearch00508-0073.pdf>
- Matsui, A., & Postlewaite, A. (2000). Specialization of Labor and the Distribution of Income. *Games and Economic Behavior*, 33(1), 72-89. DOI: <https://doi.org/10.1006/game.1999.0773>
- McKinley, W. (1987). Complexity and administrative intensity: The case of declining organizations. *Administrative Science Quarterly*, 87-105. DOI: <https://doi.org/10.2307/2392744>
- Meer, M. W. (1972). Size and the structure of organizations: A causal analysis. *American Sociological Review*, 434-440. DOI: <https://doi.org/10.2307/257509>
- Meier, K. J., & Bohte, J. (2001). Structure and discretion: Missing links in representative bureaucracy. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 11(4), 455-470. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jpart.a003511>
- Meier, K. J., Polinard, J. L., & Wrinkle, R. D. (2000). Bureaucracy and organizational performance: Causality arguments about public schools. *American Journal of Political Science*, 590-602. DOI: <https://doi.org/10.2307/2669266>
- Melman, S. (1958). General Report. In *Inspection for Disarmament* (pp. 1-56). Columbia University Press. DOI: <https://doi.org/10.7312/melm91590-003>
- Mileti, D. S., Gillespie, D. F., & Haas, J. E. (1977). *Size and structure in complex organizations*. *Social Forces*, 56(1), 208-217. DOI: <https://doi.org/10.1093/sf/56.1.208>
- Mintzberg, H. (1979). *The structuring of Organizations* (1997).
- Moynihan, D. P., & Pandey, S. K. (2005). Testing how management matters in an era of government by performance management. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 15(3), 421-439. DOI: <https://doi.org/10.1093/jopart/mui016>
- Palumbo, D. J. (1969). Power and role specificity in organization theory. *Public Administration Review*, 237-248. DOI: <https://doi.org/10.2307/973538>
- Paolillo, J. G., & Brown, W. B. (1978). How organizational factors affect R&D innovation. *Research management*, 21(2), 12-15. DOI: <https://doi.org/10.1080/00345334.1978.11756463>
- Pesaran, M. H. 2004. General diagnostic tests for cross section dependence in panels. University of Cambridge, Faculty of Economics, *Cambridge Working Papers in Economics* No. 0435. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00181-020-01875-7>
- Pondy, L. R. (1969). Effects of size, complexity, and ownership on administrative intensity. *Administrative Science Quarterly*, 47-60. DOI: <https://doi.org/10.2307/2392744>
- Pugh, D. S., Hickson, D. J., & Hinings, C. R. (1969). An empirical taxonomy of structures of work organizations. *Administrative science quarterly*, 115-126. DOI: <https://doi.org/10.2307/2391367>
- Rosen, S. (1978a). Substitution and division of labour. *Economica*, 45(179), 235-250. DOI: <https://doi.org/10.2307/2553070>
- Rosen, S. (1982b). Authority, control, and the distribution of earnings. *The Bell Journal of Economics*, 311-323. DOI: <https://doi.org/10.2307/3003456>
- Rosen, S. (1983c). Specialization and human capital. *Journal of Labor Economics*, 1(1), 43-49. DOI: <https://doi.org/10.1086/298003>
- Rushing, W. A. (1967). The effects of industry size and division of labor on administration. *Administrative Science Quarterly*, 273-295. DOI: <https://doi.org/10.2307/2392744>

- org/10.2307/2391552
- Rushing, W. A., & Davies, V. (1969). Note on the Mathematical Formalization of a Measure of Division of Labor. *Soc. F.*, 48, 394.
- Sager, F., & Rosser, C. (2009). Weber, Wilson, and Hegel: Theories of modern bureaucracy. *Public Administration Review*, 69(6), 1136-1147. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2009.02071.x>
- Samuel, Y., & Mannheim, B. F. (1970). A multidimensional approach toward a typology of bureaucracy. *Administrative Science Quarterly*, 216-228. DOI: <https://doi.org/10.2307/2391492>
- Shahzad, F., Luqman, R. A., Khan, A. R., & Shabbir, L. (2012). Impact of organizational culture on organizational performance: An overview. *Interdisciplinary journal of contemporary research in business*.
- Smith, K. B., & Larimer, C. W. (2004). A mixed relationship: Bureaucracy and school performance. *Public Administration Review*, 64(6), 728-736. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2004.00419.x>
- Tyler, W. B. (1973). Measuring organizational specialization: The concept of role variety. *Administrative Science Quarterly*, 383-392. DOI: <https://doi.org/10.2307/2391670>
- Van de Ven, A. H., & Ferry, D. L. (1980). Measuring and assessing organizations.
- Vargas-Hernández, J. G. (2011). Descentralización política y administrativa como mecanismos de gobernabilidad. *Revista Brasileira de Pós-Graduação em Ciências Sociais*, (10).
- Whisler, T. L., Meyer, H., Baum, B. H., & Sorensen, P. F. (1967). Centralization of organizational control: An empirical study of its meaning and measurement. *The Journal of Business*, 40(1), 10-26. DOI: <https://doi.org/10.1086/294916>
- Wooldridge, J. M. 2002. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge, MA: MIT Press.





NARINGENINA INHIBE PROLIFERACIÓN A TRAVÉS DE APOPTOSIS DEPENDIENTE DE LA EXPRESIÓN TRANSCRIPCIONAL DE RE EN CÉLULAS DE CÁNCER DE COLON SW480 EXPUESTAS A BPA.

NARINGENIN INHIBITS PROLIFERATION THROUGH TRANSCRIPTIONAL RE EXPRESSION DEPENDENT APOPTOSIS IN SW480 COLON CANCER CELLS EXPOSED TO BPA.

Lozano-Herrera SJ¹, Sánchez-Tusié AA¹, Hernández-Puga AG¹, Vergara-Castañeda HA^{1*}.

¹Departamento de Investigación Biomédica, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro 76176, México.

* Autor de correspondencia: hayde.vergara@uaq.mx.

Resumen

La naringenina (NAR) es un flavonoide que activa diversos mecanismos que inhiben el desarrollo del cáncer de colon, siendo uno de ellos su afinidad a diversos receptores estrógenicos (REs). Por su parte el bisfenol A (BPA), es un xenoestrógeno que promueve mecanismos de proliferación a través de su unión con RE del tipo α (RE α). El cáncer de colon se caracteriza por una disminución de RE del tipo β (RE β) y también los receptores de membrana sensibles a estrógenos, como GPR30, juegan un papel importante. Por su parte, la sobreexpresión del gen DNMT1 se ha relacionado con un pronóstico desfavorable en cáncer de colon. El objetivo del presente estudio fue evaluar los mecanismos involucrados en el efecto de NAR y BPA sobre la proliferación de células de cáncer de colon humano. Los resultados muestran que NAR promueve muerte celular por apoptosis y necrosis, y BPA lo hace a través de necrosis. Se midió el efecto de BPA y NAR sobre la expresión transcripcional de REs, GPR30 y DNMT1 mediante qPCR. BPA disminuye la expresión de RE β , mientras que NAR aumenta la expresión de RE α , RE β y la de GPR30 en coexposición con BPA. La conclusión del presente estudio es que BPA promueve mecanismos proliferativos a través de la disminución en expresión transcripcional de RE β y NAR reduce proliferación celular a través de mecanismos dependientes de la expresión de RE β y GPR30.

Palabras clave: BPA, naringenina, cáncer de colon, receptores de estrógeno, GPR30, DNMT1.

Abstract

Naringenin (NAR) is a flavonoid that activates various mechanisms to inhibit the development of colon cancer, one of them is its affinity to various estrogen receptors (ERs). Bisphenol A (BPA) is a xenoestrogen that promotes proliferation mechanisms, binding ER type α (ER α). Colon cancer is characterized by a decrease in ER type β (ER β) and estrogen-sensitive membrane receptors, such as GPR30, which also play an important role. On the other hand, overexpression of the DNMT1 gene have been related to unfavorable prognosis in colon cancer. The objective of the present study was to evaluate the mechanisms involved in the effect of NAR and BPA on the proliferation of human colon cancer cells. The results show that NAR promotes cell death by apoptosis and necrosis, and BPA by necrosis. The effect of BPA and NAR on the transcriptional expression of REs, GPR30 and DNMT1 was measured by qPCR. BPA decreases the expression of RE β , while NAR increases the expression of RE α , RE β and GPR30 in co-exposure with BPA. The present study concludes that BPA promotes proliferative mechanisms through transcriptional expression decrease of RE β , and NAR reduces cell proliferation through mechanisms dependent on RE β and GPR30 expression.

Key words: BPA, naringenin, colon cancer, estrogen receptors, GPR30, DNMT1.

1. Introducción

El cáncer de colon es uno de los tipos de cáncer más frecuentes, siendo el tercer tipo más diagnosticado a nivel mundial (Mattiuzzi ., 2019; Siegel ., 2020). Es una patología que se encuentra vinculada con hábitos alimentarios, donde el consumo de frutas y verduras está asociado a la disminución del riesgo a desarrollar el cáncer debido al contenido de fibra que contienen, además de diferentes compuestos antioxidantes (Zhong ., 2020). Dentro de los antioxidantes encontramos a los flavonoides, tales como la naringenina, flavonona reconocida por su efecto protector contra el cáncer de colon, debida a su actividad antioxidante, antiinflamatoria y por su afinidad para unirse con receptores estrogénicos (RE) (Chang ., 2018; Li ., 2014; Rehman ., 2018). Los receptores estrogénicos son de dos tipos, α y β , éste último relacionado con procesos apoptóticos que disminuyen a medida que avanza el proceso carcinogénico; por lo que la interacción con disruptores estrogénicos, cuyo nombre se aplica a los compuestos capaces de unirse con RE, altera la actividad y expresión de éstos teniendo un efecto preventivo o de promoción en cáncer de colon (Leiszter ., 2020; Sasso ., 2019). Se ha establecido que algunos disruptores de origen natural, tales como la naringenina, se unen de forma agonista a RE β promoviendo procesos apoptóticos y la expresión del mismo receptor por lo que tendría un efecto protector en cáncer de colon; sin embargo otros disruptores de origen sintético como el BPA, el cual es un compuesto empleado para polimerizar plásticos destinados a contenedores de alimentos y el cual puede migrar a la matriz alimentaria y ser ingerido por el consumidor, promueven mecanismos proliferativos, favoreciendo el desarrollo de cáncer de colon ya que tienen un efecto antagónico con los RE β (Bolli ., 2010; Luceri ., 2020). A su vez, el estudio, sobre cáncer de mama, del efecto de ambos disruptores, naringenina y BPA, en coexposición ha mostrado que la naringenina tiene un efecto antagónico a RE α , promoviendo procesos de apoptosis por activación de p38 (Bulzomi ., 2012; Li ., 2012; Pang ., 2018; Puranik ., 2019).

Aunado a los RE, existen otros receptores sensibles a estrógenos situados en la membrana celular, los GPR30, que dependiendo del estadio del cáncer de colon pudieran promover o inhibir procesos de proliferación celular (Jacenic ., 2019). Uno de los mecanismos por los cuales estos REs presentan dichos efectos es a través de la modulación epigenética, específicamente la metilación

del ADN, regulada por miembros de la familia DNMT. En cáncer de colon se ha reportado sobreexpresión de DNMT1, favoreciendo la metilación en los promotores de genes supresores de tumores y la consecuente inhibición, y a su vez se ha correlacionado negativamente con la expresión de RE β (Sanaei & Kavooosi, 2020). Por lo tanto, los procesos epigenéticos podrían estar involucrados en las actividades proliferativas y antiproliferativas de disruptores estrogénicos, y elucidar dichos mecanismos permitiría proponer alternativas para disminuir los efectos perjudiciales de dichos disruptores de carácter sintético a través del uso de compuestos naturales.

2. Metodología

2.1. Cultivo celular y ensayo de viabilidad

La línea celular de cáncer de colon SW480 obtenida de American Type Cell Colección de cultivo (ATCC, Manassa, VA, EE. UU.) se mantuvo en medio DMEM con 10% de suero fetal bovino (SFB) y 1% de antibióticos (penicilina/estreptomina) a 37°C bajo atmósfera humidificada con 5% de CO₂. Se realizó una curva dosis-respuesta de la NAR. Brevemente, las células fueron sembradas (1 x 10⁴ células/pocillo) en placas de 96 pozos dejándose crecer durante 24 h en medio DMEM con SFB al 10%. Posteriormente, el medio de cultivo fue descartado y reemplazado por los diferentes tratamientos, los cuales constaron de NAR (25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250 y 300 μ M) disuelta en DMEM con SFB al 2%, 4.4. μ M de BPA disuelto en 0.01% dimetil sulfoxido (DMSO) y DMEM con SFB al 2% y su correspondiente coexposición empleando la IC 50 de NAR+ BPA (4.4 μ M). Los tratamientos fueron administrados durante 24 h. Para determinar las pruebas de viabilidad, transcurridas las 24 h de tratamiento se retiró el medio y se añadió una solución de MTT empleando 0.5 mg/mL de bromuro de 3-(4,5-dimetil thiazolil)-2,5-difeniltetrazolio (Sigma-Aldrich #M2128) disuelta en DMEM, se dejó incubar 60 min a 37°C. Transcurrido el tiempo, la solución conteniendo el MTT fue retirada y los cristales de formazán se disolvieron en DMSO a temperatura ambiente durante 5 minutos. La absorbancia de cada muestra se leyó en un escáner espectral flash Varioskan (ThermoCientífico) a 570 nm. La viabilidad celular se calculó de la siguiente manera: Viabilidad (%) = (muestra de absorbancia / control de absorbancia) x 100.

2.2. Detección de apoptosis

La apoptosis se detectó mediante el análisis de citometría de flujo empleando el kit Muse Annexin V and Dead Cell (Millipore Corporation), el cual identifica la fosfatidilserina externalizada en la membrana celular durante el proceso apoptótico. Para el análisis se sembraron las células en placas de 6 pozos (4 x 10⁶ células/2 ml/pozo) en medio DMEM con SFB al 10%. Después de 24 h de incubación, las células fueron tratadas con NAR (150 µM, que corresponde a la IC₅₀), BPA (4.4 µM) y NAR+BPA. Después de 24 h de tratamiento, las células flotantes en los medios de cultivo se separaron mientras que las células adherentes se recogieron por tripsinización, luego las dos poblaciones celulares se agruparon y centrifugaron a 778 × g durante 5 minutos a 4°C, retirando el sobrenadante. 100 µL de células (50 x 10⁴ células) resuspendidas en medio DMEM suplementado con SFB 1% fueron mezcladas con 100 µL de Anexina V, previamente preparada bajo las condiciones del proveedor, y fueron incubadas por 20 min a temperatura ambiente y finalmente analizadas en un Muse Cell Analyzer.

2.3. Ensayo de lactato deshidrogenasa (LDH)

El ensayo de LDH fue evaluado para determinar necrosis celular, mediante el kit de LDH de Roche. Brevemente, las células (1 x 10⁴ células/pozo) fueron sembradas en placas de 96 pozos en medio de cultivo DMEM con SFB 10%. Después de 24 h de incubación, el medio fue reemplazado por DMEM con SFB 2%, que contenía los diferentes tratamientos evaluados, y nuevamente fueron incubados durante 24 h. Como control negativo, se usaron células en medio DMEM suplementado con SFB 2% y como control positivo células tratadas con Tritón X-100 y mantenidas con medio DMEM con SFB 2%. Posteriormente fueron recolectados 100 µl del sobrenadante y añadidos 100 µl de la mezcla que contiene el kit, se incubaron a temperatura ambiente durante 30 minutos. Finalmente, la absorbancia se leyó a 492 nm en un lector de ELISA.

2.4. Expresión de genes

La expresión de los genes REβ, REα, GPR30 y DNMT1 se determinó por qPCR empleando β-actina como gen constitutivo para la normalización. La extracción de RNA de las células tratadas con los diferentes tratamiento se realizó mediante columnas de silica-gel (Jena Bioscience GmbH; Jena, Germany kit # PP-210S). Posteriormente, se sintetizó el cDNA empleando cebadores Oligo dT y el kit

SCRIPT cDNA bajo las siguientes condiciones: 50°C por 40 min, 70°C por 10 min (Jena Bioscience GmbH; Jena, Germany, kit #77176). Para el qPCR se utilizó el kit Radiant™ Green Hi-ROX qPCR (Radiant molecules. Alkali Scientific Inc kit #QS2005) siguiendo las siguientes condiciones: 95°C por 2 min, 95°C por 0.05 s, 62°C por 20 s, y 65°C por 10 s para actina, 95°C por 2 min, 95°C por 0.05 s, 64°C por 20 s y 65°C por 10 s para REβ, y 95°C por 2 min, 95°C por 0.05 s, 60°C por 20 s para REα, GPR30 y DNMT1. Los cebadores empleados fueron los siguientes:

Actina

FWD-ACGGGGTCACCCACACTGTGC,
REV-CTAGAAGCATTGCGGTGGACGATG;
REβ FWD-TCCCACTTCGTAACACTTCCG,
REV-ACATTCTATAGCCCTGCTGTGA;
REα FWD-TGCTGGCTACATCATCTCGG,
REV-CAGGAACTTATCCCTCATATAG;
GPR30 FWD-AGTCGGATGTGAGGTTCAAG,
REV-TCTGTGTGAGGAGTGCAAG;
DNMT1 FWD-CGACTACATCAAAGGCAGCAACCTG,
REV-TGGAGTGGACTTGTGGGTGTTCTC.

La cuantificación relativa normalizada se realizó por el método 2^{-delta-delta Ct}, los datos se expresaron como *fold change* (veces de cambio) y se consideró significativo un cambio relativo mayor o menor a 2 *fold*s.

2.5. Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante una prueba de varianza ANOVA de dos y una vía, seguido de una prueba post hoc comparando los tratamientos contra las células tratadas con BPA (Dunnet). También se realizó una correlación de Pearson. El análisis se realizó con el programa Prism 8.

3. Resultados

NAR disminuye la viabilidad celular en coexposición con BPA.

La viabilidad celular puede observarse en la Figura 1a, en donde se muestra que a medida que aumenta la concentración de NAR, la viabilidad disminuye de manera lineal, obteniendo una IC₅₀ de 150 µM. El tratamiento de NAR+BPA, disminuye de manera significativa la viabilidad celular, como se aprecia en la Figura 1b.

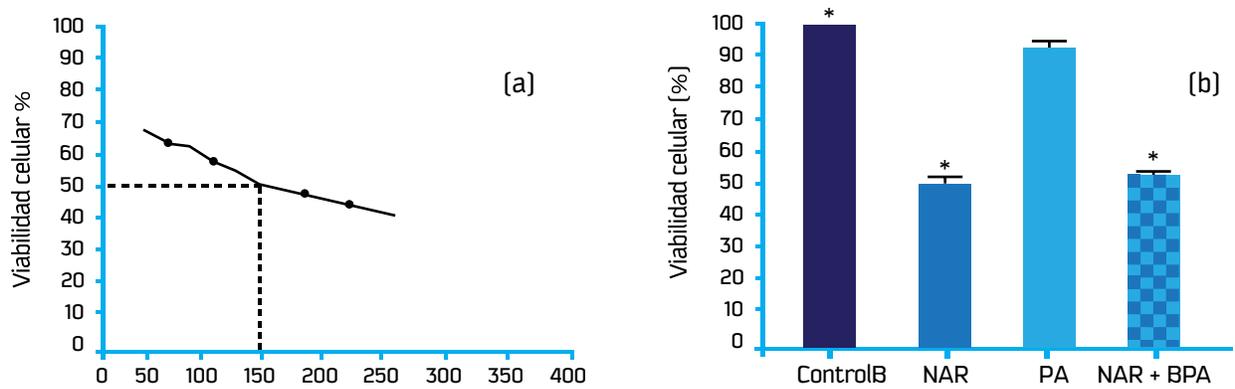


Figura 1. a) Efecto de NAR en la viabilidad de células SW480 después de 24 h de incubación. Los resultados son expresados en porcentaje [%] ± EE, b) Efecto NAR+BPA (IC50 150 μM de NAR + 4.4 μM de BPA) en células SW480 durante 24 h. Los resultados son expresados en porcentaje [%] ± EE, y representan el promedio de 3 experimentos independientes con 3 réplicas. * Diferencia estadística de acuerdo con la prueba de Dunnet ($p < 0.05$) con respecto a BPA.

3.1. NAR induce muerte apoptótica y BPA necrosis en células de cáncer de colon.

Para determinar el mecanismo de muerte celular inducido por cada tratamiento, se determinó apoptosis y necrosis mediante citometría de flujo empleando el kit de Anexina V. Los resultados muestran que NAR (IC50 150 μM) induce la muerte por apoptosis celular en el 40% de las células tratadas a las 24 h de exposición con o sin exposición con BPA (4.4 μM), y aproximadamente el 10% de las células

tratadas con NAR y NAR+BPA mueren por necrosis (Figura 2). Estos datos fueron corroborados con el ensayo de LDH (Figura 3), el cual es un biomarcador indirecto de necrosis. El resultado arrojó un porcentaje cercano al 10% de muerte celular por necrosis en células tratadas con NAR con o sin BPA. Además, es importante resaltar que también cerca del 10% de las células tratadas con BPA mueren, y esta muerte es principalmente por necrosis según lo sugerido por ambos análisis (citometría de flujo y ensayo de LDH).

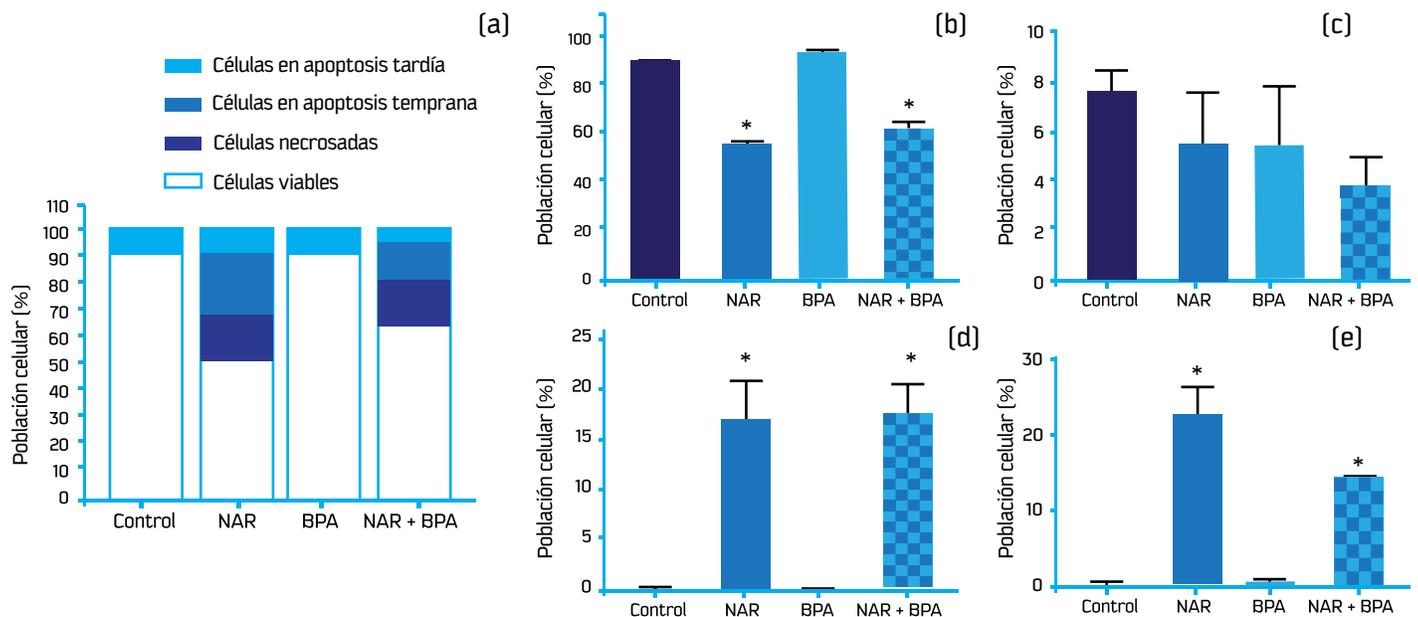


Figura 2. Análisis de citometría de flujo con Anexina V bajo los tratamiento con IC50 de NAR (150 μM), BPA (4.4 μM) y coexposición NAR (150 μM) + BPA (4.4 μM) en células SW480 después de 24 h de incubación. a) Todas las células b) Células viables, c) Células con necrosis, d) Células en apoptosis temprana, e) Células en apoptosis tardía. Los resultados son expresados como porcentaje de población celular [%] ± EE, y representa el promedio de 2 experimentos independientes con 2 réplicas. * Diferencia estadística de acuerdo a la prueba de Dunnet ($p < 0.05$) con respecto a BPA.

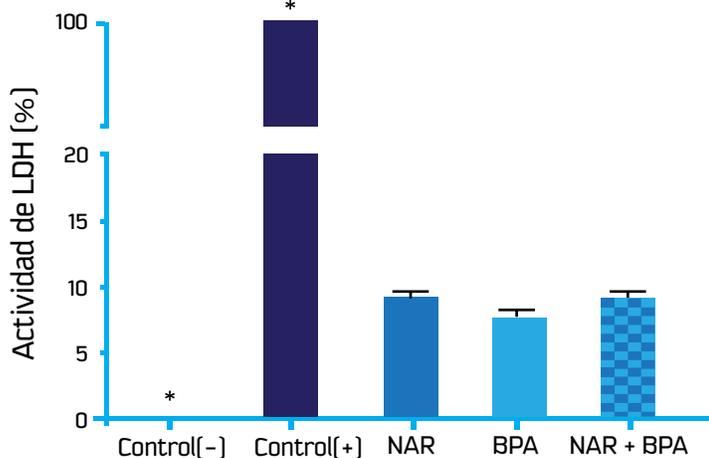


Figura 3. Actividad de lactato deshidrogenasa (LDH). Efecto de la coexposición de NAR (IC50 250 μ M) y BPA (4.4 μ M) en células SW480 expuestas durante 24 h. Los resultados son expresados como actividad de LDH (%) \pm EE, y representa el promedio de 3 experimentos independientes con 3 réplicas. Distinta letra indica diferencia estadística de acuerdo a la prueba de Dunnet ($p < 0.05$) con respecto a BPA.

3.2. BPA y NAR modulan diferencialmente la expresión transcripcional de RE α , RE β , GPR30 y DNMT1.

Los receptores estrogénicos pertenecen a la superfamilia de receptores nucleares y son considerados como marcadores pronóstico en la práctica clínica del cáncer. Los resultados acerca de la expresión transcripcional de RE en el presente estudio muestran que BPA disminuye la expresión transcripcional del RE β (0.061 veces), mientras que NAR aumenta su expresión (2.2 veces). Más aún, NAR+BPA aumenta aún más la expresión del RE β (10.44 veces \pm 0.04) (Figura 4). Por otro lado, RE α resultó inducido por NAR con o sin coexposición con BPA (0.84 veces y 1.24 veces, respectivamente) con respecto al grupo expuesto a BPA (0.45 veces). Tanto las células tratadas con NAR y NAR+BPA no presentan diferencia en cuanto a la expresión de GPR30 con respecto a las células tratadas con BPA, aunque se observa una tendencia al aumento en su inducción por parte de NAR en ambos tratamientos. Asimismo, BPA presenta una menor expresión del gen DNMT1 que el grupo tratado con NAR+BPA mientras que en el grupo NAR y BPA se encontró una expresión muy similar.

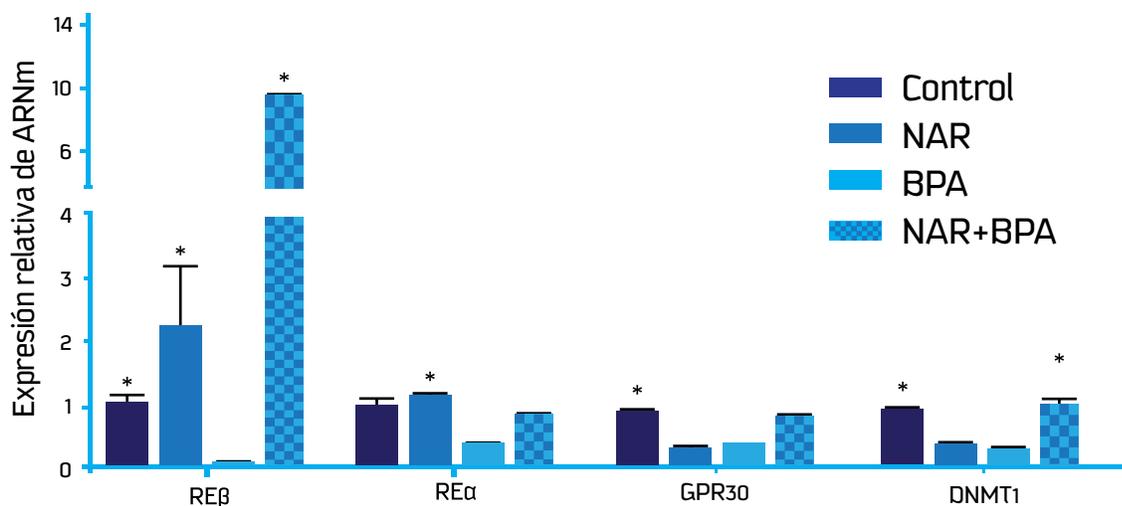


Figura 4. Expresión relativa de genes ER β , ER α , GPR30 y DNMT1 con respecto a β -actina en células SW480 tratadas con NAR (150 μ M), BPA (4.4 μ M) y coexposición NAR (150 μ M) + BPA (4.4 μ M). Los resultados son expresados como expresión relativa \pm EE, y representa el promedio de 2 experimentos independientes. * Diferencia estadística de acuerdo a la prueba de Dunnet ($p < 0.05$) con respecto a BPA.

4. Discusión

Estudios previos han demostrado que el riesgo de desarrollar cáncer de colon se incrementa con una alteración en las vías de señalización gobernadas por los receptores de estrógenos. Esto debido a que existe evidencia de que el RE β , cuya función se ha determinado

que induce apoptosis celular, demuestra una correlación inversa con la presencia de pólipos colorrectales y estadio del tumor; mientras que el RE α , asociado a eventos proliferativos, se encuentra aumentado en este tipo de cáncer (Caiazza *et al.*, 2015; Elbanna *et al.*, 2012). Algunos disruptores estrogénicos de origen natural como los

fitoestrógenos pueden unirse de manera agonista al RE β promoviendo apoptosis según lo observado en estudios epidemiológicos y modelos animales (Hedelin *et al.*, 2006). En células de cáncer de mama, la naringenina (5 μ M) se une de manera agonista al RE β disminuyendo la expresión de ARNm de TGF β 3, gen que codifica citosinas involucradas en morfogénesis y crecimiento de tejidos; en células de cáncer de colon (DLD-1) la naringenina (10 μ M) induce apoptosis por la cascada de señalización p38/MAPK modulada tras la activación agonista de RE β (Kim & Park, 2013; Totta *et al.*, 2004). Por otro lado, existen compuestos sintéticos con actividad de disruptor endócrino, como el BPA, que ha demostrado promover algunos tipos de cáncer por la capacidad agonista con RE α . Ejemplo de ello es el demostrado en células de cáncer de mama donde concentraciones de 1 μ M de BPA promueven la expresión de TGF α implicado en la proliferación de tejidos, y algunos ensayos enzimáticos han reportado efecto agonista entre el BPA (0.1 - 10 μ M) y RE α sustentando lo anterior (Hiroi *et al.*, 1999; Masuya *et al.*, 2019; Sengupta *et al.*, 2013). El efecto de la exposición combinada de disruptores naturales como la naringenina y xenoestrógenos como el BPA ha sido muy poco estudiado, lo cual sería de trascendencia para proponer un mecanismo para disminuir o mitigar los efectos perjudiciales del xenoestrógeno BPA a través de compuestos naturales.

Algunos autores han reportado una disminución en la viabilidad en células SW480 tratadas con naringenina, encontrando una IC₅₀ de 200 μ M, muy similar a la encontrada en el presente estudio (150 μ M). Song *et al.*, (2015) reportaron que la naringenina disminuye la viabilidad en células de cáncer de colon SW480 a través de la activación de p38 MAM quinasa, la cual inhibe la expresión de ciclina D1, frenando ciclo celular y promoviendo apoptosis. En el presente estudio se encontró que NAR disminuye viabilidad de células SW480 en un modo dosis-dependiente, y los mecanismos involucrados en dicho efecto son apoptosis y necrosis, sugiriendo que se activa la cascada de necroptosis, el cual es un mecanismo de muerte celular alterno que comparte similitudes morfológicas con la necrosis. Se ha reportado que la necroptosis es inducida por flavonoides como la quercetina (50 μ M) en células de cáncer de mama, observando que ésta promueve dicha vía tras la actividad de factor de necrosis tumoral (TNF), el cual se une a serina/treonina-proteína que actúa con el receptor de quinasa 3 (RIPK3) y río abajo en la mayoría de los casos activa Caspasa

8 (Galluzzi *et al.*, 2017; Khorsandi *et al.*, 2017). Por su parte el BPA, no disminuye de manera significativa la viabilidad celular, sin embargo, estudios previos han reportado que, a pesar de no impactar en proliferación, suceden eventos moleculares que le confieren a la célula capacidades de malignización e incluso de metastatizar, como lo reportado por Chen *et al.*, (2016), quienes encontraron una sobreexpresión de proteínas de migración celular como E-cadherina y Vimentina en células de Leyding (células localizadas en testículos) expuestas a BPA (10 μ M). Otros autores como Huang *et al.*, (2017) han evaluado diferentes concentraciones de BPA (0.1-1000 nM) en células epiteliales de próstata, reportando una viabilidad del 98% pero con un aumento en la expresión de receptores estrogénicos tanto como . La expresión de RE α , implicado en el desarrollo y progresión del cáncer de colon, se ha relacionada con una menor sobrevida en estudios epidemiológicos (Nüssler *et al.*, 2008; Ye *et al.*, 2019). La pérdida de la expresión de RE β también se ha relacionado con un peor pronóstico de vida pues una de sus principales funciones es promover procesos de apoptosis celular (Caiazza *et al.*, 2015). Los hallazgos de este estudio muestran que la expresión transcripcional de RE β disminuye cuando las células son tratadas con BPA, resultado que concuerda con lo reportado por Hess-Wilson *et al.* (2007) quienes evaluaron la disminución de RE β en células de cáncer de próstata LNCaP tratadas con BPA (1nM). A su vez, la expresión de RE α es mayor que la expresión de RE β en las células expuestas a BPA, que podría estar asociado a los efectos negativos de BPA reflejado en el porcentaje de células que mueren por necrosis en nuestro estudio, como lo reportado en cultivos primarios cerebelosos donde concentraciones entre 1-10 μ M de BPA aumentan la liberación de LDH dependiente de RE (Le & Belcher, 2010). Por otro lado, las células tratadas con NAR, aumentan la expresión tanto de RE β como de RE α . Es importante señalar que la expresión de RE β es predominante en el epitelio colónico normal diferenciado, pero su expresión disminuye debido al microambiente hipóxico en colon a medida que avanza la malignidad resultante del cáncer (Konstantinopoulos *et al.*, 2003). Por lo tanto, el hallazgo encontrado en este estudio, en el que NAR por sí sola o administrada en células expuestas a BPA induce la expresión de RE β es de suma importancia, ya que se sugiere que esto permite que la célula siga activando mecanismos de defensa que le confieran ventajas para morir.

También se observó que la expresión de GPR30 en células tratadas con NAR o NAR+BPA no presenta cambio en la expresión con respecto a las que únicamente son tratadas con BPA, aunque se observa una tendencia no significativa al aumento en la expresión de GPR30 en células NAR+BPA. GPR30 es un receptor acoplado a proteína G sensible a estrógeno, que puede desencadenar diferentes cascadas de señalización, tanto proliferativas como apoptóticas, de migración celular entre otras. Estudios como el reportado por Dong *et al.*, (2011) muestran que BPA (10 μ M) activa la cascada de señalización de Erk1/2 y la regulación transcripcional de c-fos a través de GPR30, mediante una vía mediada por AP1 en células de cáncer de mama. Por otro lado, estudios previos realizados en células de cáncer de próstata PC-3 han demostrado que GPR30 activa prolongadamente Erk1/2 que, a su vez, aumenta la expresión de p21 mediado por c-jun y c-fos, conduciendo a arresto al ciclo celular en la fase G2 (Chan *et al.*, 2010). A su vez, se ha reportado que compuestos naturales, tales como la isoflavona genisteína (Morton *et al.*, 2002) y equol, un metabolito colónico derivado de la daidzeina, activan GPR30 (Rowlands *et al.*, 2011). Algunos flavonoides, tales como la baicaleína, han demostrado tener efecto antiproliferativo en células de cáncer de mama, por su afinidad a receptores GPR30, los cuales disminuyen la expresión de la proteína EGFR, relacionada con supervivencia celular; además, se observó una disminución en migración celular evaluada por ensayo de herida, mecanismo sugerido, mediante el cual la naringenina pudiera disminuir la viabilidad celular, aún en coexposición con BPA (Shang *et al.*, 2015). En el presente estudio, se encontró una regulación transcripcional positiva, aunque no significativa, de GPR30 por NAR bajo condiciones de exposición a BPA de las células, sugiriendo que uno de los mecanismos antiproliferativos propuestos por el flavonoide es a través de la vía inducida por p21, mismo que fue propuesto por Chan *et al.*, (2010). De acuerdo a nuestro conocimiento, no ha sido reportada la inducción transcripcional de GPR30 por parte de la naringenina; sin embargo, se necesitan estudios más amplios para poder establecer la activación del arresto al ciclo celular en esa fase por parte de NAR.

En cuanto a la expresión de DNMT1, los tratamientos con NAR y BPA muestran expresión similar entre ellos y se encuentran disminuidos comparados con el grupo NAR+BPA. DNMT1 es una metiltransferasa primaria,

que contribuye a la metilación, expresión génica y mantenimiento de ADN de novo en la célula. En condiciones normales conserva los patrones de metilación correctos, y en cáncer de colon su expresión se encuentra alterada y se relaciona con una actividad aberrante ya que promueve la metilación en la zona promotora de genes supresores de tumores. Laing *et al.*, (2019) señalan que BPA disminuye la expresión de DNMT1 correlacionado a una hipometilación global causando inestabilidad genómica, y pudiera estar relacionado con los eventos negativos del BPA en el presente estudio. DNMT1 inhibe la transcripción de genes supresores de tumores p27 y Bax, relacionados con la proliferación celular, implicados en el desarrollo de varios tipos de cánceres (Peng *et al.*, 2006). Sin embargo, también se ha involucrado en la hipermetilación del promotor de Bcl-2, un conocido regulador de apoptosis celular, y esto inhibe la expresión de su proteína (Zheng *et al.*, 2020). Las células tratadas con NAR+BPA tienen mayor expresión de DNMT1, lo que sugiere que eventos apoptóticos y anti-apoptóticos están sucediendo a la vez inducidos por efecto de BPA y NAR al mismo tiempo, pero que la hipermetilación de protooncogenes, como Bcl-2 a través de DNMT1, pudiera contribuir al efecto antiproliferativo de NAR aún bajo los efectos moleculares de BPA (coexposición). Se sugiere la realización de estudios que incluyan blancos moleculares de DNMT1 para elucidar detalladamente el papel de DNMT1 en el efecto antiproliferativo y apoptótico de la naringenina.

Conclusión

Los hallazgos encontrados en el presente estudio sugieren que el BPA, si bien no modifica la viabilidad de manera importante en las células de cáncer de colon SW480, sí interviene en mecanismos relacionados con proliferación celular, como es la disminución del RE β en células de cáncer de colon SW480. A su vez, NAR presenta un efecto anticancerígeno a través de la reducción de la viabilidad celular, mediante la inducción de mecanismos apoptóticos y necróticos, y esa acción antiproliferativa está asociada a la modulación transcripcional de RE β y GPR30. La inducción de la muerte de células de cáncer por fitoquímicos que se consumen naturalmente en la dieta abre un nuevo horizonte para la investigación acerca de la reducción del impacto negativo de disruptores endócrinos químicos a los que constantemente estamos expuestos.

Referencias bibliográficas

- Bolli, A., Bulzomi, P., Galluzzo, P., Acconcia, F., & Marino, M. (2010). Bisphenol A impairs estradiol-induced protective effects against DLD-1 colon cancer cell growth. *IUBMB Life*, *62*(9), 684-687.
- Bulzomi, P., Bolli, A., Galluzzo, P., Acconcia, F., Ascenzi, P., & Marino, M. (2012). The naringenin-induced proapoptotic effect in breast cancer cell lines holds out against a high bisphenol a background. *IUBMB Life*, *64*(8), 690-696.
- Caiazza, F., Ryan, E. J., Doherty, G., Winter, D. C., & Sheahan, K. (2015). Estrogen Receptors and Their Implications in Colorectal Carcinogenesis. *Frontiers in Oncology*, *5*.
- Chan, Q. K. Y., Lam, H.-M., Ng, C.-F., Lee, A. Y. Y., Chan, E. S. Y., Ng, H.-K., Ho, S.-M., & Lau, K.-M. (2010). Activation of GPR30 inhibits the growth of prostate cancer cells through sustained activation of Erk1/2, c-jun/c-fos-dependent upregulation of p21, and induction of G 2 cell-cycle arrest. *Cell Death & Differentiation*, *17*(9), 1511-1523.
- Chang, H., Lei, L., Zhou, Y., Ye, F., & Zhao, G. (2018). Dietary Flavonoids and the Risk of Colorectal Cancer: An Updated Meta-Analysis of Epidemiological Studies. *Nutrients*, *10*(7).
- Chen, Z.-J., Zhang, K.-S., Ge, L.-C., Liu, H., Chen, L.-K., Du, J., & Wang, H.-S. (2016). Signals involved in the effects of bisphenol A (BPA) on proliferation and motility of Leydig cells: A comparative proteomic analysis. *Toxicology Research*, *5*(6), 1573-1584.
- Cheng, J.-T., Wang, L., Wang, H., Tang, F.-R., Cai, W.-Q., Sethi, G., Xin, H.-W., & Ma, Z. (2019). Insights into Biological Role of LncRNAs in Epithelial-Mesenchymal Transition. *Cells*, *8*(10), 1178.
- Cho, N. L., Javid, S. H., Carothers, A. M., Redston, M., & Bertagnolli, M. M. (2007). Estrogen receptors alpha and beta are inhibitory modifiers of Apc-dependent tumorigenesis in the proximal colon of Min/+ mice. *Cancer Research*, *67*(5), 2366-2372.
- Dong, S., Terasaka, S., & Kiyama, R. (2011). Bisphenol A induces a rapid activation of Erk1/2 through GPR30 in human breast cancer cells. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, *159*(1), 212-218.
- Elbanna, H. G., Ebrahim, M. A., Abbas, A. M., Zalata, K., & Hashim, M. A. (2012). Potential value of estrogen receptor beta expression in colorectal carcinoma: Interaction with apoptotic index. *Journal of Gastrointestinal Cancer*, *43*(1), 56-62.
- Galluzzi, L., Kepp, O., Chan, F. K.-M., & Kroemer, G. (2017). Necroptosis: Mechanisms and Relevance to Disease. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*, *12*(1), 103-130.
- Hedelin, M., Bälter, K. A., Chang, E. T., Bellocco, R., Klint, A., Johansson, J.-E., Wiklund, F., Thellenberg-Karlsson, C., Adami, H.-O., & Grönberg, H. (2006). Dietary intake of phytoestrogens, estrogen receptor-beta polymorphisms and the risk of prostate cancer. *The Prostate*, *66*(14), 1512-1520.
- Hess-Wilson, J. K., Webb, S. L., Daly, H. K., Leung, Y.-K., Boldison, J., Comstock, C. E. S., Sartor, M. A., Ho, S.-M., & Knudsen, K. E. (2007). Unique Bisphenol A Transcriptome in Prostate Cancer: Novel Effects on ERβ Expression That Correspond to Androgen Receptor Mutation Status. *Environmental Health Perspectives*, *115*(11), 1646-1653.
- Hiroi, H., Tsutsumi, O., Momoeda, M., Takai, Y., Osuga, Y., & Taketani, Y. (1999). Differential interactions of bisphenol A and 17beta-estradiol with estrogen receptor alpha (ERalpha) and ERbeta. *Endocrine Journal*, *46*(6), 773-778.
- Huang, D.-Y., Zheng, C.-C., Pan, Q., Wu, S.-S., Su, X., Li, L., Wu, J.-H., & Sun, Z.-Y. (2018). Oral exposure of low-dose bisphenol A promotes proliferation of dorsolateral prostate and induces epithelial-mesenchymal transition in aged rats. *Scientific Reports*, *8*(1), 490.
- Jacenic, D., Beswick, E. J., Krajewska, W. M., & Prossnitz, E. R. (2019). G protein-coupled estrogen receptor in colon function, immune regulation and carcinogenesis. *World Journal of Gastroenterology*, *25*(30), 4092-4104.
- Khorsandi, L., Orazizadeh, M., Niazvand, F., Abbaspour, M. R., Mansouri, E., & Khodadadi, A. (2017). Quercetin induces apoptosis and necroptosis in MCF-7 breast cancer cells. *Bratislavske Lekarske Listy*, *118*(2), 123-128.
- Kim, S., & Park, T. I. (2013). Naringenin: A partial agonist on estrogen receptor in T47D-KBluc breast cancer cells. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, *6*(10), 890-899.
- Konstantinopoulos, P. A., Kominea, A., Vadoros, G.,

- Sykiotis, G. P., Andricopoulos, P., Varakis, I., Sotiropoulou-Bonikou, G., & Papavassiliou, A. G. (2003). Oestrogen receptor beta (ERbeta) is abundantly expressed in normal colonic mucosa, but declines in colon adenocarcinoma paralleling the tumour's dedifferentiation. *European Journal of Cancer (Oxford, England: 1990)*, 39(9), 1251-1258.
- Laing, L. V., Viana, J., Dempster, E. L., Trznadel, M., Trunkfield, L. A., Webster, T. M. U., Aerle, R. van, Paull, G. C., Wilson, R. J., Mill, J., & Santos, E. M. (2016). Bisphenol A causes reproductive toxicity, decreases dnmt1 transcription, and reduces global DNA methylation in breeding zebrafish (*Danio rerio*). *Epigenetics*, 11(7), 526-538.
- Le, H. H., & Belcher, S. M. (2010). Rapid Signaling Actions of Environmental Estrogens in Developing Granule Cell Neurons Are Mediated by Estrogen Receptor β . *Endocrinology*, 151(12), 5689-5699.
- Leiszter, K., Galamb, O., Kalmár, A., Zsigrai, S., Valcz, G., Szigeti, K. A., Barták, B. K., Nagy, Z. B., Dank, M., Liposits, Z., Igaz, P., Tulassay, Z., & Molnár, B. (2020). [Potential role of estrogens in colorectal tumour development]. *Orvosi Hetilap*, 161(14), 532-543.
- Li, H., Zhu, F., Chen, H., Cheng, K. W., Zykova, T., Oi, N., Lubet, R. A., Bode, A. M., Wang, M., & Dong, Z. (2014). 6-C-(E-phenylethenyl)-naringenin suppresses colorectal cancer growth by inhibiting cyclooxygenase-1. *Cancer Research*, 74(1), 243-252.
- Li, Y., Burns, K. A., Arao, Y., Luh, C. J., & Korach, K. S. (2012). Differential estrogenic actions of endocrine-disrupting chemicals bisphenol A, bisphenol AF, and zearalenone through estrogen receptor α and β in vitro. *Environmental Health Perspectives*, 120(7), 1029-1035.
- Luceri, C., Femia, A. P., Tortora, K., D'Ambrosio, M., Fabbri, S., Fazi, M., & Caderni, G. (2020). Supplementation with phytoestrogens and insoluble fibers reduces intestinal carcinogenesis and restores ER- β expression in Apc-driven colorectal carcinogenesis. *European Journal of Cancer Prevention: The Official Journal of the European Cancer Prevention Organisation (ECP)*, 29(1), 27-35.
- Martinez-Ciarpaglini, C., Oltra, S., Roselló, S., Roda, D., Mongort, C., Carrasco, F., Gonzalez, J., Santonja, F., Tarazona, N., Huerta, M., Espí, A., Ribas, G., Ferrández, A., Navarro, S., & Cervantes, A. (2019). Low miR200c expression in tumor budding of invasive front predicts worse survival in patients with localized colon cancer and is related to PD-L1 overexpression. *Modern Pathology*, 32(2), 306-313.
- Masuya, T., Iwamoto, M., Liu, X., & Matsushima, A. (2019). Discovery of novel oestrogen receptor α agonists and antagonists by screening a revisited privileged structure moiety for nuclear receptors. *Scientific Reports*, 9(1), 9954.
- Mattiuzzi, C., Sanchis-Gomar, F., & Lippi, G. (2019). Concise update on colorectal cancer epidemiology. *Annals of Translational Medicine*, 7(21), 609.
- Morton, M. S., Arisaka, O., Miyake, N., Morgan, L. D., & Evans, B. A. J. (2002). Phytoestrogen concentrations in serum from Japanese men and women over forty years of age. *The Journal of Nutrition*, 132(10), 3168-3171.
- Nüssler, N. C., Reinbacher, K., Shanny, N., Schirmeier, A., Glanemann, M., Neuhaus, P., Nussler, A. K., & Kirschner, M. (2008). Sex-specific differences in the expression levels of estrogen receptor subtypes in colorectal cancer. *Gender Medicine*, 5(3), 209-217.
- Pang, X., Fu, W., Wang, J., Kang, D., Xu, L., Zhao, Y., Liu, A.-L., & Du, G.-H. (2018). Identification of Estrogen Receptor α Antagonists from Natural Products via In Vitro and In Silico Approaches. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, 6040149.
- Peng, D.F., Kanai, Y., Sawada M, Ushijima, S., Hiraoka, N., Kitazawa, S., Hirohashi, S. (2006). DNA methylation of multiple tumor-related genes in association with overexpression of DNA methyltransferase 1 (DNMT1) during multistage carcinogenesis of the pancreas. *Carcinogenesis*. 27(6):1160-1168.
- Puranik, N. V., Srivastava, P., Bhatt, G., John Mary, D. J. S., Limaye, A. M., & Sivaraman, J. (2019). Determination and analysis of agonist and antagonist potential of naturally occurring flavonoids for estrogen receptor (ER α) by various parameters and molecular modelling approach. *Scientific Reports*, 9(1), 7450.
- Rehman, M. U., Rahman Mir, M. U., Farooq, A., Rashid, S. M., Ahmad, B., Bilal Ahmad, S., Ali, R., Hussain, I., Masoodi, M., Muzamil, S., Madkhali, H., & Ahmad Ganaie, M. (2018). Naringenin (4,5,7-trihydroxyflavanone) suppresses the

- development of precancerous lesions via controlling hyperproliferation and inflammation in the colon of Wistar rats. *Environmental Toxicology*, 33(4), 422-435.
- Rowlands, D. J., Chapple, S., Siow, R. C. M., & Mann, G. E. (2011). Equol-Stimulated Mitochondrial Reactive Oxygen Species Activate Endothelial Nitric Oxide Synthase and Redox Signaling in Endothelial Cells. *Hypertension*, 57(4), 833-840.
- Sanaei, M., & Kavooosi, F. (2020). Effect of 5-aza-2'-deoxycytidine on Estrogen Receptor Alpha/Beta and DNA Methyltransferase 1 Genes Expression, Apoptosis Induction, and Cell Growth Prevention of the Colon Cancer HT 29 Cell Line. *International Journal of Preventive Medicine*, 11.
- Sasso, C. V., Santiano, F. E., Campo Verde Arboccó, F., Zyla, L. E., Semino, S. N., Guerrero-Gimenez, M. E., Pistone Creydt, V., López Fontana, C. M., & Carón, R. W. (2019). Estradiol and progesterone regulate proliferation and apoptosis in colon cancer. *Endocrine Connections*, 8(3), 217-229.
- Sengupta, S., Obiorah, I., Maximov, P. Y., Curpan, R., & Jordan, V. C. (2013). Molecular mechanism of action of bisphenol and bisphenol A mediated by oestrogen receptor alpha in growth and apoptosis of breast cancer cells. *British Journal of Pharmacology*, 169(1), 167-178.
- Shang, D., Li, Z., Zhu, Z., Chen, H., Zhao, L., Wang, X., & Chen, Y. (2015). Baicalein suppresses 17- β -estradiol-induced migration, adhesion and invasion of breast cancer cells via the G protein-coupled receptor 30 signaling pathway. *Oncology Reports*, 33(4), 2077-2085.
- Siegel, R. L., Miller, K. D., Goding Sauer, A., Fedewa, S. A., Butterly, L. F., Anderson, J. C., Cercek, A., Smith, R. A., & Jemal, A. (2020). Colorectal cancer statistics, 2020. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*.
- Song, Y. J., Sawamura, M., Ikeda, K., Igawa, S., & Yamori, Y. (2000). Soluble dietary fibre improves insulin sensitivity by increasing muscle GLUT-4 content in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Clinical and Experimental Pharmacology & Physiology*, 27(1-2), 41-45.
- Totta, P., Acconcia, F., Leone, S., Cardillo, I., & Marino, M. (2004). Mechanisms of naringenin-induced apoptotic cascade in cancer cells: Involvement of estrogen receptor alpha and beta signalling. *IUBMB Life*, 56(8), 491-499.
- Ye, S.-B., Cheng, Y.-K., Zhang, L., Wang, X.-P., Wang, L., & Lan, P. (2019). Prognostic value of estrogen receptor- α and progesterone receptor in curatively resected colorectal cancer: A retrospective analysis with independent validations. *BMC Cancer*, 19(1), 933.
- Zeng, H., Li, T., He, X., Cai, S., Luo, H., Chen, P., Chen, Y. (2020). Oxidative stress mediates the apoptosis and epigenetic modification of the Bcl-2 promoter via DNMT1 in a cigarette smoke-induced emphysema model. *Respiratory Research*, 21, 229.
- Zhong, Y., Zhu, Y., Li, Q., Wang, F., Ge, X., Zhou, G., & Miao, L. (2020). Association between Mediterranean diet adherence and colorectal cancer: A dose-response meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*.



DIGITAL CIENCIA@UAQRO

ISSN: 2395 - 8847

VOLUMEN 14 NÚMERO 1

ENERO - JUNIO 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
DIRECCIÓN DE POSGRADO

