



PERSPECTIVAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

9



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA

VOLUMEN 5, NÚMERO 9

JULIO - DICIEMBRE 2022

DIRECTORIO

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca

RECTORA

Dr. Javier Ávila Morales

SECRETARIO ACADÉMICO

Dr. Eduardo Núñez Rojas

SECRETARIO DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y POSGRADO

Lic. Federico de la Vega Oviedo

DIRECTOR DEL FONDO EDITORIAL UNIVERSITARIO

Dr. Manuel Toledano Ayala

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Juan Carlos Jáuregui Correa

**JEFE DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

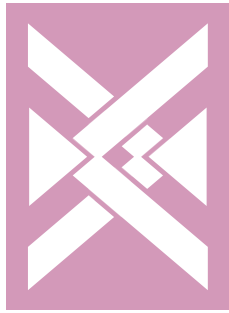
MDI. Jorge Javier Cruz Florín

**COORDINADOR DEL DESPACHO DE
PUBLICACIONES FACULTAD DE INGENIERÍA**

Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología, vol. 5, núm. 9, julio-diciembre 2022, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario, Cerro de las Campanas S/N, Las Campanas, Querétaro C. P. 76010, Querétaro. Tel. (442)1921200 ext. 6023. <http://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas>, perspectivasci@uaq.mx. Editor responsable: Juan Carlos Jáuregui Correa. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2021-81011485000-102, ISSN: 2683-3107, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Jorge Javier Cruz Florín, Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas, C. P. 76010, Querétaro, Qro., fecha de última modificación: 27 de julio de 2022.

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.



**PERSPECTIVAS DE LA
CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA**

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Manuel Toledano Ayala

DIRECCIÓN

**Dr. Juan Carlos Jáuregui Correa
Dra. Stephanie Virginia Camacho Gutiérrez
Dr. Christopher Alexis Cedillo Jiménez**

EDITORES RESPONSABLES

**Lic. Cristian Emanuel Tovar Navarro
Lic. Ana Cristina Fragoso Tejeida
Lic. Daniela Alejandra Otero Nieto**

DISEÑO EDITORIAL

Lic. Alonso Rodrigo Hernández Gallegos

DISEÑO DE PORTADA

Ing. Soid Ruiz Ramírez

CORRECCIÓN DE ESTILO



CONTENIDO

01

EFFECTO DE TRATAMIENTOS PRECOSECHA EN LA REVERSIÓN Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS DEL FRUTO DE ZARZAMORA (*Rubus sp.*)

Joel E. Martínez Camacho
Diana V. Melo Sabogal
Ileri A. Carbajal Valenzuela
Irineo Torres Pacheco

02

LA EXPERIENCIA DE TRABAJAR CON LA METODOLOGÍA 'AULA INVERTIDA'

Juan Carlos Antonio Jáuregui Correa

03

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LAS LABORES DE CUIDADOS NO REMUNERADOS A PARTIR DEL ENFOQUE DE SISTEMAS COMPLEJOS


Lorena Suárez Alvarez
Daniel García Casarrubias



04

DISEÑO DE UNA BIORREFINERÍA PARA LA OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLE RENOVABLE DE AVIACIÓN A PARTIR DE MICROALGAS

Valeria Caltzontzin Rabell
María De La Luz Sánchez Estrada
Ruth Chávez Jaime
Claudia Gutiérrez Antonio
Ana Angélica Feregrino Pérez
Juan Fernando García Trejo



05

EL MODELO DE MARKOWITZ PARA LA SELECCIÓN DE PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN

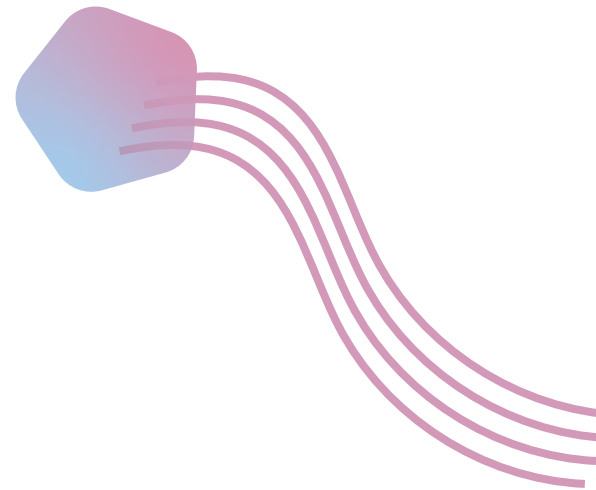
Guillermo Carlos Guerrero Camargo
Víctor Antonio Aguilar Arteaga



01

EFFECTO DE TRATAMIENTOS PRECOSECHA EN LA REVERSIÓN Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS DEL FRUTO DE ZARZAMORA (*Rubus sp.*)

EFFECTS OF PREHARVEST TREATMENTS IN ANTHOCYANIN CONTENT
AND RED DRUPELET REVERSION OF BLACKBERRIES (*Rubus sp.*)



Joel E. Martínez Camacho¹
Diana V. Melo Sabogal¹
Ileri A. Carbajal Valenzuela¹
Irineo Torres Pacheco^{1*}

¹ Universidad Autónoma de Querétaro

*Correo: torresirineo@gmail.com



RESUMEN

La zarzamora (*Rubus sp.*) es uno de los productos con mayor crecimiento en el sector agrícola mexicano. Su popularidad se debe en parte a su alto contenido de compuestos antioxidantes y bioactivos. Entre ellos se encuentran las antocianinas, que otorgan la coloración morada intensa característica de la zarzamora. Este fruto es altamente susceptible de un desorden fisiológico conocido como reversión, el cual se relaciona con la degradación de antocianinas y se manifiesta como un cambio de color y la aparición de manchas. La condición perjudica la percepción del consumidor acerca de la calidad de la fruta y es una de las principales razones de rechazo durante la comercialización de la zarzamora en fresco.

La síntesis y degradación de antocianinas están reguladas por estímulos externos e internos que incluyen el efecto de sustancias reguladoras del crecimiento. En este sentido, el uso de quitosano y el ácido salicílico, dos sustancias ampliamente reportadas como modificadores del metabolismo vegetal, ofrece una opción para

Gran cantidad de zarzamoras perfectamente nutritivas se desperdician sólo porque no lucen un color brillante. Los tratamientos con ácido salicílico y quitosano tienen el objetivo de conservar la apariencia de los frutos durante más tiempo para atraer la atención de los consumidores.

incrementar la concentración o mantener la integridad de las antocianinas presentes en los frutos de zarzamora. El objetivo de este trabajo fue describir qué efecto tiene la aplicación foliar de ácido salicílico 3 mM y quitosano 0.25 % en periodos pre cosecha sobre el contenido de antocianinas

totales y la ocurrencia del fenómeno de reversión en frutos de zarzamora. Los resultados mostraron un aumento en el contenido de antocianinas en zarzamoras tratadas con quitosano

y una disminución de la ocurrencia del fenómeno de reversión en zarzamoras tratadas con quitosano y ácido salicílico después de 144 horas de almacenamiento.

Palabras clave: Ácido salicílico, antocianinas, quitosano, zarzamora.

ABSTRACT

Blackberries (*Rubus sp.*) are one of the fastest growing products in the Mexican agricultural sector, its popularity is due in part to. It's high content of antioxidant and bioactive compounds. Among them are anthocyanins, which give the intense purple coloration characteristic of blackberries. This fruit is highly susceptible to a physiological disorder known as reversion, which is linked to anthocyanin degradation and is manifested as a color change and the formation of spots. The condition damages consumer perception of fruit quality and is one of the main reasons for rejection during fresh blackberry marketing.

Anthocyanin synthesis and degradation are regulated by external and internal stimuli including the effect of growth regulating substances. In this sense, the use of chitosan and salicylic acid, two substances widely reported as plant metabolism modifiers, offers an option to increase the concentration or maintain the integrity of anthocyanins present in blackberry fruits. The objective of this work was to describe the effect of foliar application of 3 mM salicylic acid and 0.25 % chitosan in pre-harvest periods on total anthocyanin content and the occurrence of the reversion phenomenon in blackberry fruits. The results showed an increase in anthocyanin content in blackberries treated

with chitosan and a decrease in the occurrence of the reversion phenomenon in blackberries treated with chitosan and salicylic acid after 144 hours of storage.

Keywords: salicylic acid, anthocyanins, chitosan, blackberry.

INTRODUCCIÓN

La zarzamora (*Rubus* sp.) se ha ubicado durante la última década como uno de los productos con mayor potencial en el sector agrícola mexicano. Su consumo se relaciona con efectos positivos para la salud humana debido a su alto contenido de compuestos bioactivos capaces de modular procesos metabólicos, además de sus propiedades antioxidantes [1], [9]. Dichas sustancias han mostrado efectos antivirales, antiinflamatorios, cardioprotectores y antidiabéticos [2], [3].

Las antocianinas son los pigmentos que le otorgan a la zarzamora su coloración característica y se localizan principalmente en la piel del fruto [4]. Presentan en su mayoría una base de cianidina e inhiben la proliferación de células de carcinoma en pulmones y la migración de células cancerígenas; además, tienen efectos neuroprotectores en células extracraneales [5], [6]. Sus beneficios a la salud se atribuyen principalmente a su capacidad antioxidante. Existe un gran interés por aumentar su contenido en los alimentos y promover su consumo [4], [7], [8].

La maduración de la zarzamora va acompañada de un cambio cromático, del verde al rojo y finalmente al morado intenso, resultado de la acumulación de antocianinas [10]. No obstante, el fruto es altamente susceptible de un desorden

fisiológico conocido como reversión, el cual se manifiesta como una alteración de color de morado a rojo o la aparición de manchas rojas en la fruta madura tras la cosecha. Este trastorno es una de las principales razones de rechazo durante la comercialización de la zarzamora en fresco; adicionalmente, se ha reportado que factores como la vibración durante el transporte o almacenamiento, la exposición a condiciones de iluminación intensa, cambios de temperatura y operaciones adicionales de manejo posterior a la cosecha podrían deteriorar el fruto y favorecer el fenómeno de reversión junto con la degradación de antocianinas [11], [12], [13].

Hay diversos estímulos que regulan la síntesis de antocianinas, entre ellos se incluyen la temperatura, iluminación, estatus nutricional y disponibilidad de agua, así como el efecto de reguladores del crecimiento vegetal [14], [15]. En este sentido, el uso de modificadores del metabolismo vegetal como el quitosano (CHS) y el ácido salicílico (SA) puede ser una opción para incrementar la concentración de compuestos bioactivos en la zarzamora o mantener las características de las antocianinas en el fruto por tiempos más prolongados [16], [17], [18].

El ácido salicílico es una molécula de origen fenólico cuya aplicación exógena en plantas ha mostrado la activación de las resistencias local y sistémica adquirida [19], [20], al igual que la disminución del deterioro y ablandamiento en diversos frutos, además de la mejora de propiedades como la firmeza y la protección contra reacciones oxidativas [21], [22], [23], [24], [25]. Por otra parte, el quitosano es un polisacárido lineal derivado de la quitina con una amplia variedad

de beneficios en plantas, incluyendo la activación de mecanismos de resistencia, rutas metabólicas de producción de compuestos bioactivos, y la prevención del deterioro de frutos [26], [27]. El objetivo de este trabajo fue describir el efecto de la aplicación precosecha de ácido salicílico y quitosano sobre el contenido de antocianinas totales y la ocurrencia del fenómeno de reversión durante el almacenamiento de la zarzamora.

MATERIALES Y MÉTODOS

LUGAR DE DESARROLLO EXPERIMENTAL

El lote experimental de plantas se ubicó en la comunidad de Senegal de las Palomas, municipio de San Juan del Río, Querétaro (20.436092 N, 10.85137 O). Las zarzamoras de la variedad comercial Tupi de 5 años de edad bajo sistema de riego por goteo se dispusieron en hileras de separadas 2.4 m, con una distancia entre plantas de 0.80 m. Se realizaron las labores culturales esenciales de poda de activación, nutrición foliar, despunte, riego, poda de rebrote y desyerbe para el mantenimiento y manejo de cultivo durante el ciclo 2020, según los lineamientos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) para la producción agrícola orgánica y del Programa Orgánico Nacional (National Organic Program, NOP) del departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

METODOLOGÍA

TRATAMIENTOS

Los tratamientos fueron de SA (grado reactivo, J.T. Baker, USA.) y CHS (grado técnico, bajo peso molecular, 50 000-190 000 Da. Alzor® Biotechnologies, México)



a concentraciones 3 mM y 0.25 %, respectivamente. Se aplicaron vía foliar entre las 7:00 y 8:00 h, utilizando un aspersor de mano con un volumen de 1 l para rociar cada 80 plantas y frutos hasta dejar las hojas a punto de goteo. El diseño experimental fue de bloques al azar con dos tratamientos y un control de agua destilada, cada uno con 3 repeticiones de 28 plantas.

DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES Y PORCENTAJE DE REVERSIÓN

Se recolectaron muestras tras 24 horas de la aplicación de los tratamientos. Las zarzamoras se seleccionaron en su punto comercial de maduración, sin evidencia de daño mecánico ni enfermedad, con color negro brillante, drupas completas, firmes, de fácil desprendimiento y ubicación similar en la planta.

Porcentaje de reversión: Las muestras se colocaron en clamshells comerciales de PET de 6 oz entre 0 y 1 °C durante 12 horas. Posteriormente se mantuvieron a una temperatura promedio de 22 a 23 °C durante 13 horas. Cada unidad experimental fue de 12 a 16 zarzamoras con 4 repeticiones por tratamiento. El registro de incidencia de reversión se realizó de manera similar a [28] con ligeras modificaciones: se consideró que una zarzamora presentaba reversión si dos o más de sus drupas cambiaron su coloración de morado intenso a rojizo durante el almacenamiento (Figura 1).

Determinación de antocianinas totales: Se tomaron muestras de las zarzamoras en almacenamiento a las 144 horas para la cuantificación de antocianinas totales. La determinación se realizó de manera similar a [29] y [30] por el método de pH diferencial, con ligeras modificaciones. Se molieron y homogenei-

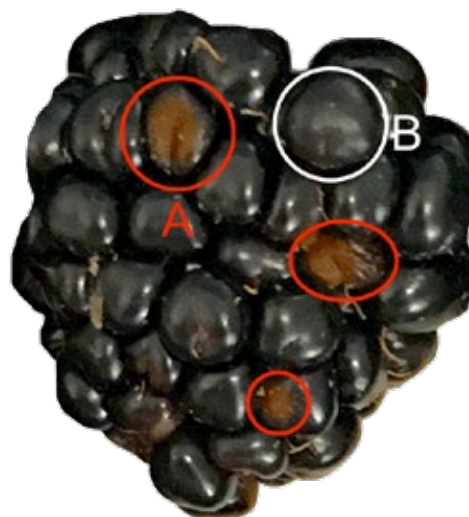


Figura 1. Reversión en drupas de zarzamora. A) Drupa afectada por reversión, B) Drupa sana. Se consideró presente la reversión en una zarzamora si dos o más de sus drupas manifestaban afectación.

zaron 5 zarzamoras al azar de cada tratamiento; se pesó una muestra de 0.5 g previamente molida en frío, a la cual se le añadieron 5 ml de HCl/MetOH 1 % v/v. Se introdujo en un agitador de vórtice por 30 segundos; posteriormente se colocó la mezcla en un sonicador a 45 Hz por 10 min a temperatura ambiente. Las muestras fueron centrifugadas a 4000 rpm y 20 °C por 5 min; el sobrenadante se extrajo para las determinaciones.

Se prepararon dos diluciones del extracto; A 0.05 ml de extracto se le añadieron 1.90 ml de búfer de KCl 0.025 M, pH = 1. A otros 0.05 ml de extracto se le añadieron 1.90 ml de búfer de acetato de sodio 0.4 M, pH = 4.5. La absorbancia se midió a 515 y 700 nm para ambas diluciones. El contenido total de antocianinas se expresó como equivalente en mg de cianidina-3-glucósido (C3G) por 100 g de muestra.

ANÁLISIS DE DATOS

El programa JMP® (Versión 12.1.0) permitió llevar a cabo el análisis de

varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias estadísticas significativas y cotejar las medias de Tukey ($P = 0.05$) para el contenido de antocianinas. Las proporciones se compararon mediante la prueba exacta de Fisher para comprobar la presencia de reversión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las zarzamoras tratadas con CHS 0.25 % mostraron mayor contenido de antocianinas (146.37 mg por cada 100 g de peso fresco) en comparación con el control. El porcentaje de incidencia del fenómeno de reversión fue menor para las zarzamoras tratadas con CHS 0.25 % y SA 3 mM, ambas con 0 % al final del periodo de almacenamiento (Tabla 1 y Figura 2). Como referencia, el contenido de antocianinas reportado en la literatura para la zarzamora fresca se encuentra en el rango de 83 a 326 mg por cada 100 g de peso fresco, y el porcentaje de incidencia de reversión en condiciones de almacenamiento comerciales se encuentra desde el 13.2 hasta el 41 % [28], [31].

Tabla 1. Contenido de antocianinas y presencia de reversión en frutos de zarzamora después de 144 horas de almacenamiento.

TRATAMIENTO	ANTOCIANINAS TOTALES ¹	PORCENTAJE DE REVERSIÓN ²
CHS 0.25 %	146.37 ± 5.93 a	0%
SA 3 mM	135.96 ± 3.65 ab	0%
Control	133.17 ± 3.40 b	25%

¹Contenido de antocianinas equivalentes totales expresado como mg de C3G/100 g de peso fresco. Prueba HSD Tukey-Kramer, = 0.05. Medias ± SD.

²Porcentaje de frutos de zarzamora afectados por reversión después de 144 horas de almacenamiento. Prueba exacta de Fisher. *Diferencia respecto al control = 0.05.

Las condiciones de almacenamiento de temperatura, luz y vibración, así como hora de recolección influyen en la aparición de la reversión [11], [32]. Sin embargo, los tratamientos con ácido salicílico y quitosano mostraron una reducción en la ocurrencia del fenómeno en las zarzamoras al final del periodo de prueba bajo nuestros parámetros de almacenamiento. Por otra parte, existe evidencia de que el ácido salicílico desencadena en las plantas respuestas similares a las observadas durante el ataque de patógenos, por ejemplo, el reforzamiento de la pared celular a través de la producción de sustancias que protegen la integridad estructural de las células [33], [34]. Es decir, el ácido salicílico podría tener un efecto positivo en la conservación del fruto al prevenir la ruptura de las paredes celulares o vacuolas de las drupas que genera un cambio de coloración debido a la exposición de los pigmentos al medio ambiente [35]. A su vez, el uso de quitosano puede reducir el ablandamiento y la tasa de respiración [36], [37], [38], fenómenos que podrían estar relacionados con la conservación del color de las drupas de las zarzamoras observadas en nuestro ensayo.

El tratamiento CHS 0.25 % tuvo un efecto en el contenido de antocianinas parecido al repor-

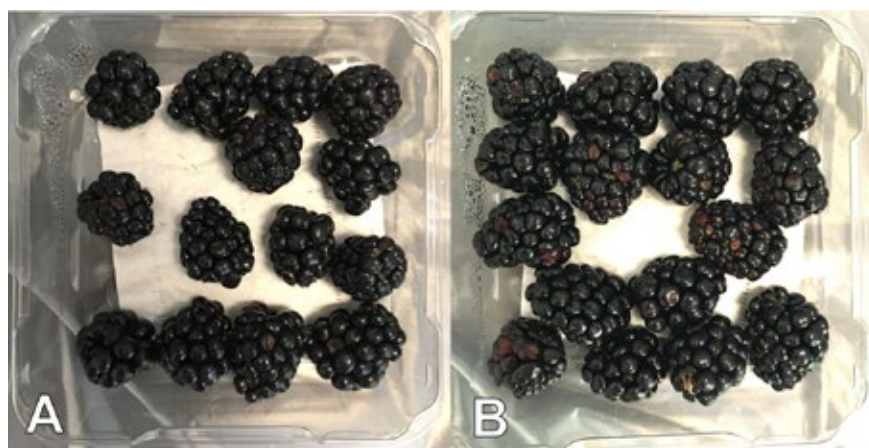


Figura 2. Comparación visual de tratamientos después de 144 horas de almacenamiento. Fotografías representativas: A) Quitosano 0.25 %, B) Control.

tado por [18], [36] y [39], en frutos similares. En adición a sus propiedades como activador de rutas metabólicas de síntesis de compuestos fenólicos, la molécula de quitosano ha reportado efectos antimicrobianos y de preservación de características de los frutos [40], [41]. En ese sentido, la producción de pigmentos de la zarzamora podría haber aumentado como efecto del tratamiento de quitosano respecto al control; sin embargo, fue estadísticamente igual al tratamiento de ácido salicílico. Dado que la determinación se realizó únicamente al final del periodo de almacenamiento, por el momento no existe información concluyente para precisar si el quitosano promovió una mayor síntesis de antocianinas o funcionó como conservador en el fruto.

Existen reportes de una reducción en el contenido de antocianinas, así como cambios estructurales y fisicoquímicos en drupas afectadas por reversión en contraste con drupas de zarzamora sin afectación [13], [42]. Esta información sugiere que las condiciones puntuales en zonas dañadas en la superficie de la zarzamora se relacionan con la degradación de ciertos compuestos de la pared celular, así como con el cambio de pH y la exposición de los pigmentos al medio ambiente [13], [35]. No existe a la fecha un consenso entre el contenido de antocianinas y su relación con la ocurrencia de la reversión en la zarzamora, ya que los reportes respecto al contenido de antocianinas en frutos de zarzamora afectados por reversión son contradictorios [11], [42], [43].



CONCLUSIONES

El uso de quitosano y ácido salicílico como tratamientos precosecha contribuye aparentemente a evitar el fenómeno de reversión y promover la conservación de antocianinas en la zarzamora; sin embargo, se requiere la determinación de variables adicionales que describan con mayor detalle el posible mecanismo de acción de estos modificadores del metabolismo vegetal, al igual que la relación del contenido y el tipo de antocianinas presentes en el fruto de zarzamora con la ocurrencia de la reversión. Hasta el momento, las causas exactas de esta afectación no se encuentran completamente descritas y la evidencia sugiere que se trata de un fenómeno multifactorial cuya prevención requiere un estudio más profundo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan su agradecimiento al Sr. Resti y al Sr. Alejandro por su amable contribución con material vegetal y espacios para el desarrollo de este trabajo. Este trabajo fue financiado parcialmente gracias al apoyo del CONACYT (Ref:500818).

REFERENCIAS

- [1] U. Złotek, M. Świeca, and A. Jakubczyk, "Effect of abiotic elicitation on main health-promoting compounds, antioxidant activity and commercial quality of butter lettuce (*Lactuca sativa* L.)," *Food chemistry*, vol. 148, pp. 253-260, 2014.
- [2] P. Padmanabhan, J. Coreea-Bentanzio, and G. Paliyath, "Berries and related fruits," *Encyclopedia of Food and Health, Reference Module in Food Science*, pp. 364-371, 2016.
- [3] T. Y. Wang, Q. Li, and K. S. Bi, "Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate," *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 12-23, 2018..
- [4] O. Paredes-López, M. L. Cervantes-Ceja, M. Vigna-Pérez, and T. Hernández-Pérez, "Berries: improving human health and healthy aging, and promoting quality life —a review," *Plant foods for human nutrition*, vol. 65, no. 3, pp. 299-308, 2010.
- [5] M. Ding, R. Feng, S. Y. Wang, L. Bowman, Y. Lu, Y. Qian, V. Castranova, B. H. Jiang, and X. Shi, "Cyanidin-3-glucoside, a natural product derived from blackberry, exhibits chemopreventive and chemotherapeutic activity," *Journal of Biological Chemistry*, vol. 281, no. 25, pp. 17 359-17 368, 2006.
- [6] L. Tavares, I. Figueira, G. J. McDougall, H. L. Vieira, D. Stewart, P. M. Alves, R. B. Ferreira, and C. N. Santos, "Neuroprotective effects of digested polyphenols from wild blackberry species," *European Journal of Nutrition*, vol. 52, no. 1, pp. 225-236, 2013.
- [7] J. Zhao, L. C. Davis, and R. Verpoorte, "Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites," *Biotechnology advances*, vol. 23, no. 4, pp. 283-333, 2005.
- [8] J. Oszmiański, P. Nowicka, M. Teleszko, A. Wojdyło, T. Cebulak, and K. Oklejewicz, "Analysis of phenolic compounds and antioxidant activity in wild blackberry fruits," *International journal of molecular sciences*, vol. 16, no. 7, pp. 14 540-14 553, 2015.
- [9] V. Gowd, T. Bao, and W. Chen, "Antioxidant potential and phenolic profile of blackberry anthocyanin extract followed by human gut microbiota fermentation," *Food research international*, vol. 120, pp. 523-533, 2019.
- [10] J. H. Sun, J. J. Luo, L. Tian, C. L. Li, Y. Xing, and Y. Y. Shen, "New evidence for the role of ethylene in strawberry fruit ripening," *Journal of Plant Growth Regulation*, vol. 32, no. 3, pp. 461-470, 2013.
- [11] G. Pérez-Pérez, M. Fabela-Gallegos, M. Vázquez-Barrios, D. Rivera-Pastrana, L. Palma-Tirado, E. Mercado-Silva, and V. Escalona, "Effect of the transport vibration on the generation of the color reversion in blackberry fruit," in *VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits —Ethical and Technological Issues* 1194, pp. 1329-1336, 2016.
- [12] A. A. Fernández-Jaramillo, C. Duarte-Galvan, L. García-Mier, S. N. Jiménez-García, and L. M. Contreras-Medina, "Effects of acoustic waves on plants: An agricultural, ecological, molecular and biochemical perspective," *Scientia Horticulturae*, vol. 235, pp. 340-348, 2018.
- [13] M. Edgley, D. Close, P. Measham, and D. Nichols, "Physiochemistry of blackberries (*Rubus* l. subgenus *Rubus* watson) affected by red drupelet reversion," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 153, pp. 183-190, 2019.
- [14] K. Manning, "Isolation of a set of ripening-related genes from strawberry: their identification and possible relationship to fruit quality traits," *Planta*, vol. 205, no. 4, pp. 622-631, 1998.
- [15] A. T. Chávez-Bárceñas, C. Alonso-Ojeda, and P. A. García-Saucedo, "Proteómica de

- la maduración de frutos de zarzamora (*Rubus* sp.) cultivados en México, una primera aproximación," *Ra Ximhai*, vol. 8, no. 3, 2012.
- [16] M. C. Martínez-Ballesta, L. López-Pérez, M. Hernández, C. López-Berenguer, N. Fernández-García, and M. Carvajal, "Agricultural practices for enhanced human health," *Phytochemistry Reviews*, vol. 7, no. 2, pp. 251-260, 2008.
- [17] Y. Shen and H. Yang, "Effect of preharvest chitosan-g-salicylic acid treatment on postharvest table grape quality, shelf life, and resistance to botrytis cinerea-induced spoilage," *Scientia Horticulturae*, vol. 224, pp. 367-373, 2017.
- [18] H. Barikloo and E. Ahmadi, "Shelf life extension of strawberry by temperatures conditioning, chitosan coating, modified atmosphere, and clay and silica nanocomposite packaging," *Scientia horticulturae*, vol. 240, pp. 496-508, 2018.
- [19] W. E. Durrant and X. Dong, "Systemic acquired resistance," *Annual Review of Phytopathology*, vol. 42, pp. 185-209, 2004.
- [20] L. C. van Loon, M. Rep, and C. M. Pieterse, "Significance of inducible defense-related proteins in infected plants," *Annual Review of Phytopathology*, vol. 44, pp. 135-162, 2006.
- [21] M. Shafiee, T. Taghavi, and M. Babalar, "Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry," *Scientia horticulturae*, vol. 124, no. 1, pp. 40-45, 2010.
- [22] X. Lu, D. Sun, Y. Li, W. Shi, and G. Sun, "Pre-and post-harvest salicylic acid treatments alleviate internal browning and maintain quality of winter pineapple fruit," *Scientia Horticulturae*, vol. 130, no. 1, pp. 97-101, 2011.
- [23] B. M. Moreno, R. G. Rizzolo, C. de Moraes Fagundes, A. Bender, and L. E. C. Antunes, "Efeito do ácido salicílico na pré-colheita de amora preta cv. tupy," *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 16, no. 2, pp. 234-239, 2015.
- [24] A. Lo'ay, "Preharvest salicylic acid and delay ripening of 'superior seedless' grapes," *Egyptian journal of basic and applied sciences*, vol. 4, no. 3, pp. 227-230, 2017.
- [25] A. Lo'ay and M. El-Boray, "Improving fruit cluster quality attributes of 'flame seedless' grapes using preharvest application of ascorbic and salicylic acid," *Scientia Horticulturae*, vol. 233, pp. 339-348, 2018.
- [26] M. Rinaudo, "Chitin and chitosan: properties and applications," *Progress in polymer science*, vol. 31, no. 7, pp. 603-632, 2006.
- [27] M. Aider, "Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry," *LWT-food science and technology*, vol. 43, no. 6, pp. 837-842, 2010.
- [28] A. A. Salgado and J. R. Clark, "'Crispy' blackberry genotypes: A breeding innovation of the university of arkansas blackberry breeding program," *HortScience*, vol. 51, no. 5, pp. 468-471, 2016.
- [29] S. G. Lee, T. M. Vance, T.-G. Nam, D.-O. Kim, S. I. Koo, and O. K. Chun, "Evaluation of ph differential and hplc methods expressed as cyanidin-3-glucoside equivalent for measuring the total anthocyanin contents of berries," *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 10, no. 3, pp. 562-568, 2016.
- [30] S. M. Paunović, P. Mašković, M. Nikolić, and R. Miletić, "Bioactive compounds and antimicrobial activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) berries and leaves extract obtained by different soil management system," *Scientia Horticulturae*, vol. 222, pp. 69-75, 2017.
- [31] M. M. Giusti and R. E. Wrolstad, "Characterization and measurement of anthocyanins by uv-visible spectroscopy," *Current protocols in food analytical chemistry*, no. 1, pp. F1-2, 2001.
- [32] M. Edgley, D. Close, and P. Measham, "Red drupelet reversion in blackberries: A complex of genetic and environmental factors," *Scientia Horticulturae*, vol. 272, p. 109555, 2020.
- [33] J. C. Cocuron, M. I. Casas, F. Yang, E. Grotewold, and A. P. Alonso, "Beyond the wall: High-throughput quantification of plant soluble and cell-wall bound phenolics by liquid chromatography tandem mass spectrometry," *Journal of Chromatography A*, 2018.
- [34] F. Muro-Villanueva, X. Mao, and C. Chapple, "Linking phenylpropanoid metabolism, lignin deposition, and plant growth inhibition," *Current opinion in biotechnology*, vol. 56, pp. 202-208, 2019.
- [35] J. R. Clark, E. T. Stafne, H. K. Hall, and C. E. Finn, "Blackberry breeding and genetics," *Plant breeding reviews*, vol. 29, p. 19, 2007.
- [36] J. V. Tezotto-Uliana, G. P. Fargoni, G. M. Geerdink, and R. A. Kluge, "Chitosan applications pre-or postharvest prolong raspberry shelf-life quality," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 91, pp. 72-77, 2014.
- [37] T. Drevinskas, G. Naujokaitytė, A. Maruška, M. Kaya, I. Sargin, R. Daubaras, and L. Česonienė, "Effect of molecular weight



- of chitosan on the shelf life and other quality parameters of three different cultivars of actinidia kolomikta (kiwifruit)," *Carbohydrate polymers*, vol. 173, pp. 269-275, 2017.
- [38] W. Zhang, H. Zhao, J. Zhang, Z. Sheng, J. Cao, and W. Jiang, "Different molecular weights chitosan coatings delay the senescence of postharvest nectarine fruit in relation to changes of redox state and respiratory pathway metabolism," *Food chemistry*, vol. 289, pp. 160-168, 2019.
- [39] C. D. Grande-Tovar, C. Chaves-Lopez, A. Serio, C. Rossi, and A. Paparella, "Chitosan coatings enriched with essential oils: Effects on fungi involved in fruit decay and mechanisms of action," Trends in *Food Science & Technology*, vol. 78, pp. 61-71, 2018.
- G. M. Saavedra, N. E. Figueroa, L. A. Poblete, S. Cherian, and C. R. Figueroa, "Effects of pre-harvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit," *Food chemistry*, vol. 190, pp. 448-453, 2016.
- [40] C. Mannozi, U. Tylewicz, F. Chinnici, L. Siroli, P. Rocculi, M. Dalla Rosa, and S. Romani, "Effects of chitosan based coatings enriched with procyanidin by-product on quality of fresh blueberries during storage," *Food chemistry*, vol. 251, pp. 18-24, 2018.
- [41] M. J. Kim, M. Y. Lee, J. C. Shon, Y. S. Kwon, K.-H. Liu, C. H. Lee, and K. M. Ku, "Untargeted and targeted metabolomics analyses of blackberries-understanding postharvest red drupelet disorder," *Food chemistry*, vol. 300, p. 125 169, 2019.
- [42] A. R. Flores-Sosa, D. Soto-Magaña, L. E. González-de la Vara, L. Sanchez-Segura, M. Bah, D. M. Rivera-Pastrana, G. M. Nava, and E. M. Mercado-Silva, "Red drupelet reversion in blackberries caused by mechanical damage is not linked to a reduction in anthocyanin content," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 180, p. 111618, 2021.



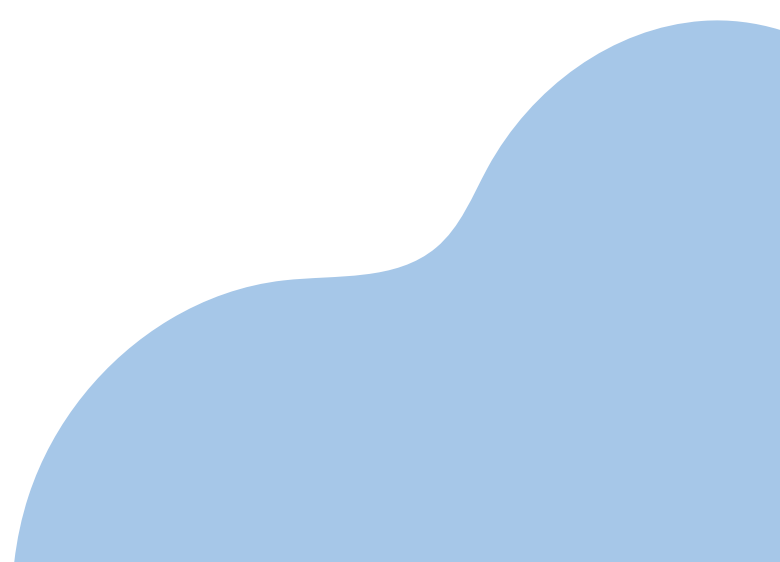
02

LA EXPERIENCIA DE TRABAJAR CON LA METODOLOGÍA 'AULA INVERTIDA'

**THE EXPERIENCE OF WORKING WITH THE
"FLIPPED CLASSROOM" METHODOLOGY**

Juan Carlos Antonio Jáuregui Correa¹

*¹ Universidad Autónoma de Querétaro
Correo: jc.jauregui@uaq.mx*





RESUMEN

Se aplican los conceptos del *Aula Invertida* como una respuesta a la necesidad de implementar la didáctica virtual. El método combina las herramientas tecnológicas, los conceptos didáctico-pedagógicos y las habilidades de los alumnos para buscar en Internet. Se identifica la importancia de seleccionar los materiales, definir qué actividades se harán en casa y planear la manera de ejecutarlas en el aula. Este último punto es fundamental para que los estudiantes optimicen el tiempo en grupo. Tradicionalmente, la clase en el *aula invertida* está planeada para una audiencia de cualquier amplitud y, en este concepto, el aula se convierte en un espacio que debe propiciar la interacción y la construcción colectiva del conocimiento. Este artículo presenta una aplicación práctica del *aula invertida* para un modelo de educación a distancia

Palabras clave: Aula invertida, planeación didáctica, conectivismo.

ABSTRACT

The concepts of the *Flipped Classroom* are applied as a response to the need to implement virtual teaching. The method combines technological tools, didactic-pedagogical concepts and the skills of students to search the Internet. The importance of selecting materials, defining which activities are to be performed at home and how to plan the activities in the classroom. This last point is essential for students to optimize group time. Traditionally, the class in the *flipped classroom* is planned for

an audience of any size and, in this concept, the classroom becomes a space that should propitiate interaction and the collective construction of knowledge. This article presents a practical application of the *Flipped Classroom* for a distance education model.

Keywords: Flip classroom, planning, connectivism.

INTRODUCCIÓN

La decisión de utilizar este método fue una respuesta a la necesidad de impartir los cursos desde casa. Sin una referencia clara, sin antecedentes locales ni personas a quienes consultar, se buscaron alternativas para enfrentar el reto académico. Una de las experiencias previas que nos hicieron buscar métodos alternos fueron las observaciones directas realizadas a cursos en línea. Había varias opciones, como los asíncronos: es decir, sin una interacción directa entre el profesor y los alumnos, apoyada en el intercambio de información a través de los portales digitales. Los modelos asíncronos funcionan cuando los alumnos tienen claros los antecedentes, saben cómo interpretar la información y pueden realizar los ejercicios; además los métodos de evaluación están bien definidos y se prevén las actividades en grupo y foros de discusión. No obstante, la dificultad para complementar el trabajo y solucionar dudas específicas limitan este modelo.

La otra forma de llevar los cursos era cambiar el pizarrón por una presentación y dictar la cátedra en línea. Este método se consideró poco efectivo porque los alumnos no estaban inmersos en la clase: sólo esperaban recibir el material para tratar de entenderlo después y resolver así los traba-

jos asignados y los exámenes; no asimilaban el nuevo conocimiento ni cumplían con los objetivos del curso. Por otro lado, impartir los cursos en línea abría muchas posibilidades y recuperaba un paradigma de la enseñanza en la ingeniería: “fomentar las habilidades para que los alumnos se vuelvan autodidactas”.

En la búsqueda de alternativas, la Universidad Autónoma de Querétaro ofertó el curso aula invertida, cuyo éxito despertó el interés para aplicar herramientas menos tradicionales. Este concepto permite estructurar el trabajo cotidiano con un doble objetivo: que los alumnos comprendan el contenido de los cursos teóricos de ingeniería y que fortalezcan el hábito del estudio sin abandonar la interacción profesor-alumno.

Antes de internarnos en el método, es importante definir algunos conceptos. El método del aula invertida se basa en un principio pedagógico definido como conectivismo. Este parte de la generación de conexiones entre los diferentes actores del conocimiento y sus fuentes. Para ello, busca identificar las redes de información y su relación con el contexto en el que se trabaja, y construye el conocimiento a través de la socialización y trabajo colaborativo entre los participantes. Sus elementos se pueden resumir en [1]:

1. *El conocimiento yace en la diversidad de opiniones. Poco satisfactorio.*
2. *El conocimiento se construye conectando nodos de información. Muy satisfactorio.*
3. *El conocimiento es intrínseco al medio y no sólo depende de los humanos (está en las fuentes de información).*

4. Es más importante saber cómo aumentar el conocimiento que permanecer con lo que se sabe (no se necesita el dato, sino encontrarlo en la red en el momento adecuado).

5. El conocimiento continuo se nutre si se mantienen y alimentan las conexiones.

6. Es primordial tener la habilidad para ver las conexiones entre los campos del conocimiento y las ideas.

7. La intención del proceso del conectivismo es tener la información precisa y actualizada.

8. El significado de la información y la selección del contenido se ven a través de una lente cambiante (esto contrasta con el dicho “no es verdad ni es mentira, todo es según el color del cristal con que se mira”).

En el conectivismo, la función del profesor es crear un medio donde el estudiante se adueña de su aprendizaje; sus herramientas son los blogs, las wikis y redes que distribuyen el conocimiento. En una colectividad se construyen significados y textos (videos) cuyo contenido se intercambia y negocia en aras de la creación colectiva del conocimiento. La enseñanza tradicional de la ingeniería no contemplaba este concepto; esto supone un nuevo reto para la educación en la nueva normalidad [1].

Siemens [2] establece que el conductismo, cognitivismo y constructivismo tienen limitaciones porque se desarrollaron cuando la tecnología no había impactado en el aprendizaje como hoy. El acceso a cantidades exorbitantes de datos no garantiza la absorción del conocimiento. Para los modelos anteriores, las bases de datos y la información disponibles en la red son inconcebibles.

De hecho, estas teorías nacieron cuando el conocimiento crecía lentamente. En cambio, hoy el saber avanza a una velocidad mayor y el aprendizaje sigue caminos distintos, pues se da en diferentes formas y escenarios.

Visto como un proceso, el aprendizaje se basa en una relación estrecha entre el objeto de estudio y las tareas que el estudiante debe realizar en un entorno abierto y global. Los nuevos procesos de aprendizaje requieren de sistemas abiertos a la información y capaces de clasificar, ordenar las interacciones con el entorno del aprendizaje, adaptarse al cambio y aprovechar la experiencia de manera evolutiva. El nuevo conocimiento no es pasivo: se activa cuando una colectividad transforma la cantidad de información en un bien común. El proceso ya no es lineal. No se basa en un emisor del mensaje, un medio de transmisión y un receptor; en la actualidad, cada individuo de un grupo participa en una red activa, donde accede a un mar de información que debe compartir para que se pueda organizar, analizar y construir conocimiento nuevo. En este proceso, el profesor debe procurar las interacciones, la organización de la información según el desarrollo de cada participante y los mecanismos para compartir los resultados del análisis colectivo. Los recursos tecnológicos del mundo moderno facilitan la interconectividad de todos los miembros del grupo y, en consecuencia, la creación colectiva del conocimiento [2].

Para Bergmann y Sams [3], el aula invertida debe:

- Construir un ambiente flexible en el que el alumno accede al material y lo gestiona.



- Priorizar la autonomía del estudiante, lo que implica que sea participativo, colaborativo, dinámico e interactivo.
- Cambiar el papel del docente de expositor a guía: que cree contenidos, los ajuste de acuerdo con las necesidades del grupo, establezca los niveles de calidad académica y permita la diversidad en los avances del grupo.

El aula invertida requiere del apoyo de la familia, ya que las actividades se hacen también en casa [3].

CARACTERÍSTICAS DEL AULA INVERTIDA

El modelo responsabiliza al estudiante por su aprendizaje. En cambio, el profesor asume otro rol: diseña las actividades y los materiales que el alumno deberá desarrollar en casa, y los acerca a través de medios digitales. Las metodologías didácticas deberán escogerse para que haya coherencia entre los contenidos y las actividades.

El enfoque pedagógico posibilita que, en lugar de tener una instrucción grupal (salón de clase), esta sea individual (trabajo en casa). En el espacio virtual, los alumnos colaboran para edificar las experiencias definidas en las actividades. El profesor acompaña, genera y motiva condiciones creativas con miras a la innovación; además, se involucra con los alumnos en la construcción de nuevos conceptos y su aplicación.

PILARES DEL MÉTODO

- Ambiente flexible: acompañar en el proceso del aprendizaje autónomo, organizar el espacio

en la plataforma virtual, preparar los materiales y definir las actividades de acuerdo con las necesidades de los alumnos.

- Evaluación: crear los espacios adecuados para la interacción y reflexionar sobre sus aprendizajes; observar, dar seguimiento a los estudiantes y ajustar cuando sea necesario; ofrecer diferentes maneras de aprender y demostrar dominio del tema.
- Cultura del aprendizaje: la responsabilidad de la instrucción se centra en el estudiante. En el aula las actividades reconocen, profundizan y refuerzan dicho conocimiento.
- Contenido dirigido: el material se genera de manera adecuada, se adapta a las necesidades de los estudiantes, genera interés y permite al alumno identificar sus fortalezas y debilidades para asimilar cada unidad. Tiene un fin educativo, por lo que el profesor debe seleccionar y diseñar la información y adoptar actividades de aprendizaje activo que promuevan la independencia, la autonomía y responsabilidad del estudiante.
- Trabajo del facilitador: es un guía y curador de materiales; permanece cercano, acompaña y retroalimenta a los alumnos para propiciar un ambiente de análisis crítico del aprendizaje. Es necesario incitar y manifestar la reflexión entre pares para que el profesor mejore su proceso de guía.

VENTAJAS DEL AULA INVERTIDA:

- Mejora el ambiente de trabajo.
- Incrementa la atención educativa de cada estudiante.
- Transforma el salón en un área de trabajo activo.
- Promueve la creatividad y el pensamiento crítico.

- Fomenta el trabajo colaborativo.
- Pone los contenidos a disposición.
- Informa a los padres sobre lo que ocurre en clase.
- Ambiente flexible: acompañar en el proceso del aprendizaje autónomo, organizar el espacio.

El aula invertida tiene como fin seleccionar la información que el alumno deberá estudiar en casa. También busca diseñar las actividades con las cuales él practicará sus capacidades deductivas y analíticas para solucionar problemas con la información disponible, además de reforzar los conocimientos básicos de cada tema a través de elementos de evaluación del aprendizaje [4].

METODOLOGÍA

En esta sección se describe cómo se aplicó el concepto del Aula Invertida [5] durante la pandemia del 2020 y 2021. La primera parte reflexiona sobre los elementos fundamentales que se deberían cubrir en el proceso formativo de los futuros ingenieros. La FIGURA 1 ilustra el ciclo de pensamiento con el que se forman las habilidades y capacidades ingenieriles. Esto se puede agrupar en tres clases: deducción, analogías y reforzamiento. El conocimiento y las habilidades se construyen a partir de concepciones previas que, con la deducción, generan nuevos razonamientos. Estos se fundamentan en analogías con fenómenos o problemas similares, y se reafirman desde la repetición y la mecanización (reforzamiento).

Para lograr este ciclo con la metodología de la clase invertida, se generaron los elementos mostrados en la FIGURA 2.

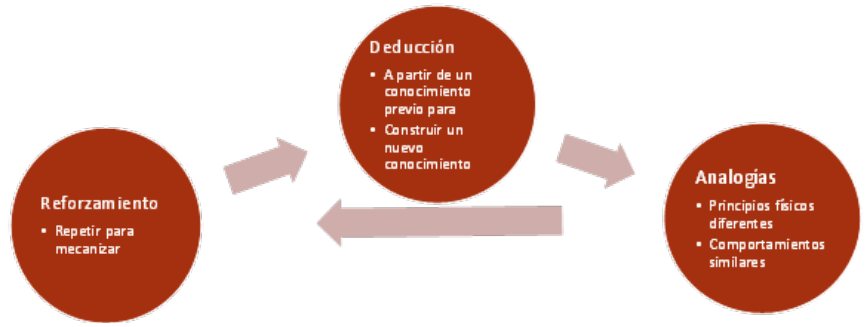


Figura 1. Ciclo de pensamiento en la formación de los ingenieros.

El proceso de trabajo se ilustra en la FIGURA 3. El ciclo inicia cuando el profesor asigna la actividad y define las evidencias del trabajo de cada alumno. Los ejemplos de estas actividades son lecturas de libros de texto o preguntas teórico-prácticas que el alumno deberá entregar en un formato de presentación formal. Así, se asegura que el alumno desarrolla la habilidad de comunicación asertiva que necesitará durante toda su vida profesional.

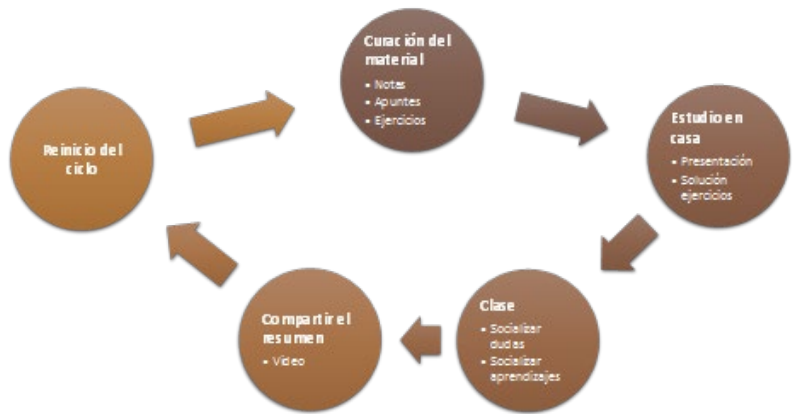


Figura 2. Ciclo de trabajo del aula invertida.

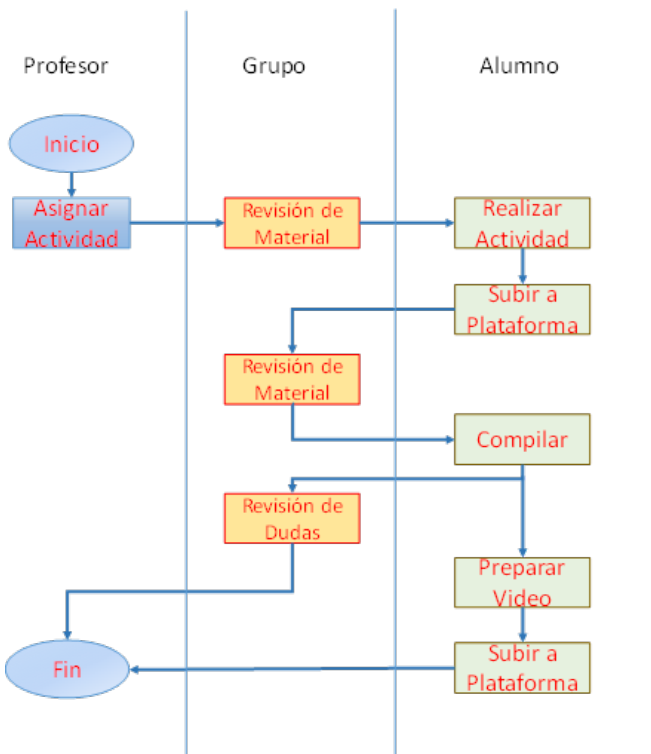


Figura 3. Flujo de trabajo.

Plataforma	El ciclo inicia con la selección y curación del material:
Casa	<ul style="list-style-type: none"> • Notas • Apuntes • Ejercicios
ClassRoom	
Meet +Chat	Después se generan los espacios de trabajo en la plataforma virtual; en este caso se utilizó la plataforma Classroom® en la que se insertó el material ya curado y se programaron las evaluaciones particulares de cada actividad. La FIGURA 4 muestra un ejemplo de la planeación:
ClassRoom	
Meet +Chat	
Casa	
ClassRoom	



	May 28, 2020 Curva Caracteristic...	May 27, 2020 Solucion de los ejercicios...	May 25, 2020 Bobinado de un motor	May 20, 2020 Curva Voltaje- Velocidad	May 18, 2020 Funcion de Transferenci...	May 11, 2020 Simulación de la respuesta...	Apr 22, 2020 Ejercicio 9	Ag Ej ak
Sort by first name ▾	out of 100	out of 100	out of 100	out of 100	out of 100	out of 100	out of 100	ou
Class average	80	92.5	100	87.5	85	85	100	71

Figura 4. Ejemplo del registro de actividades en Classroom®.

Cada alumno puede revisar los materiales en casa, desarrollar las actividades programadas y cargar a la plataforma los documentos probatorios de su trabajo. Una vez terminada la actividad en casa, se programaron reuniones de seguimiento en Meet®. En ese espacio, se discutían las dudas y resultados de la evaluación. Al

inicio de la sesión, los alumnos redactaban sus comentarios y dudas en la plataforma virtual y posteriormente se compartían en el grupo para una dinámica en la que las respuestas ayudaran colectiva y no individualmente a realizar progresos significativos. La tabla 1 muestra un ejemplo de los comentarios que expresaban los

alumnos en una clase (se omitieron los nombres para proteger la privacidad de los alumnos).

Durante las sesiones, se reforzaron los conceptos mediante notas en la plataforma digital. La FIGURA 5 ilustra un ejemplo de las notas que los alumnos y el profesor hacían en clase.

Tabla 1.

COMENTARIOS DE CLASE	
ALUMNO 1	9:07 AM <i>Las variables que lo afectan directamente son la permeabilidad, el área transversal y la intensidad de flujo.</i>
ALUMNO 2	9:12 AM <i>Siento que, para modificar significativamente el flujo magnético, lo principal que uno puede modificar es el área que posee, ya que, para varios de los datos que se usan que tienen que ver con el flujo, se requieren los datos del área, como el flujo magnético, la densidad de flujo y la reluctancia De los ejercicios creo que pude entender la mayoría, pero no el 2.3. [sic]</i>
ALUMNO 3	9:17 AM <i>Para resolver los ejercicios de circuitos magnéticos, más que nada nos concentramos en la fórmula de la fuerza electromotriz y de ahí despejar las fórmulas de acuerdo con el número de espiras, permeabilidad, el área transversa. [sic]</i>

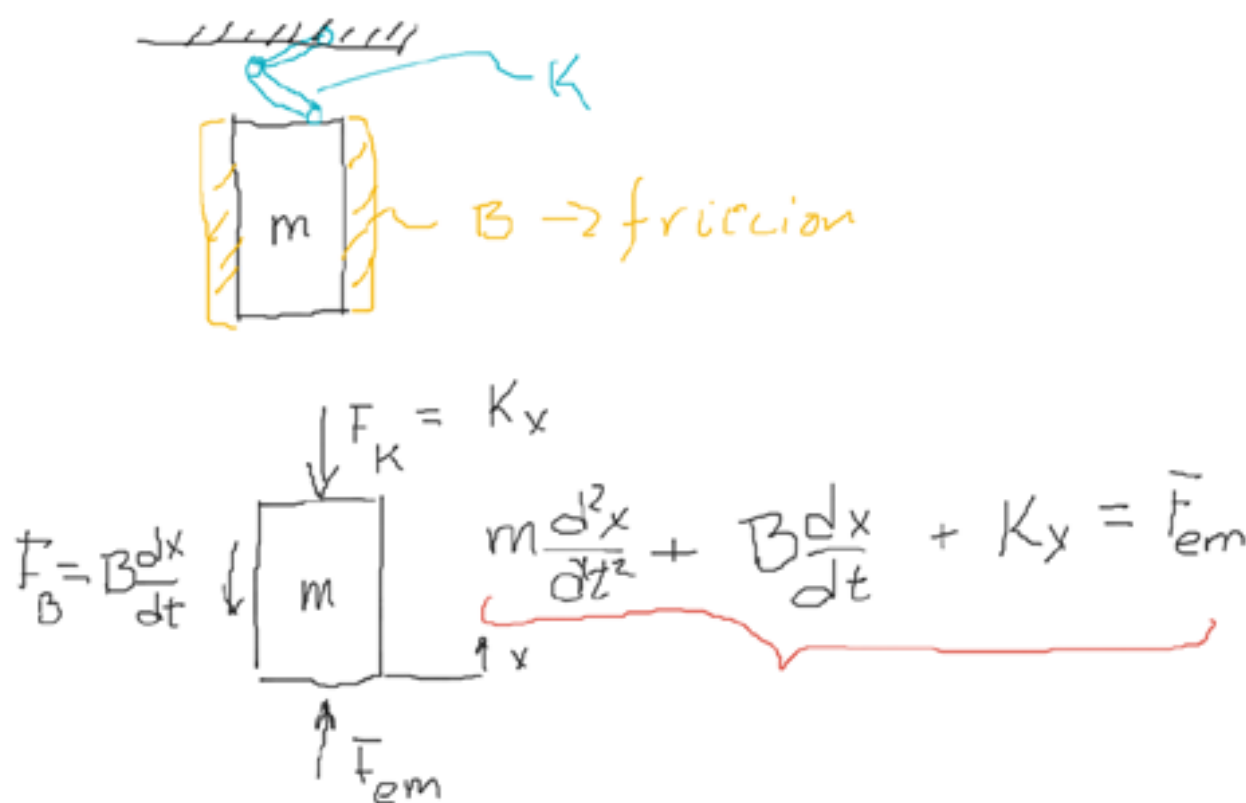


Figura 5. Ejemplo de notas desarrolladas en clase.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los conceptos del aula invertida permitieron subsanar las dificultades que la pandemia impuso sobre el proceso enseñanza-aprendizaje tradicional que se realizaba en la Facultad de Ingeniería. A ese respecto, se aplicó una estrategia didáctica [6] que la tabla 2 resume:

Una vez que se termina la discusión, uno de los alumnos realiza y comparte con el resto del grupo un video en el que reflexiona sobre los puntos importantes de la clase. La FIGURA 6 muestra un ejemplo de esta instrucción. En estos videos, los alumnos son capaces

de explicar los principios de funcionamiento o las bases que definen un problema típico del curso, desde una perspectiva común a todos sus compañeros: traducen los conceptos ingenieriles a un lenguaje comprensible para el grupo.

Tabla 2. Estrategia didáctica.

DATOS DE LA SESIÓN	OBJETIVOS DEL APRENDIZAJE	TRABAJO EN CASA		TRABAJO EN EL AULA VIRTUAL	
		APRENDIZAJE	REFLEXIÓN	COLABORATIVAS	EVALUATIVAS
Nombre de la sesión	Lo que los estudiantes deben alcanzar al finalizar la clase	-Revisión de notas bibliográficas y apuntes -Realizar ejercicios	-Preparar presentación -Preparar video resumen	Discutir dudas	Evaluar la participación de los alumnos

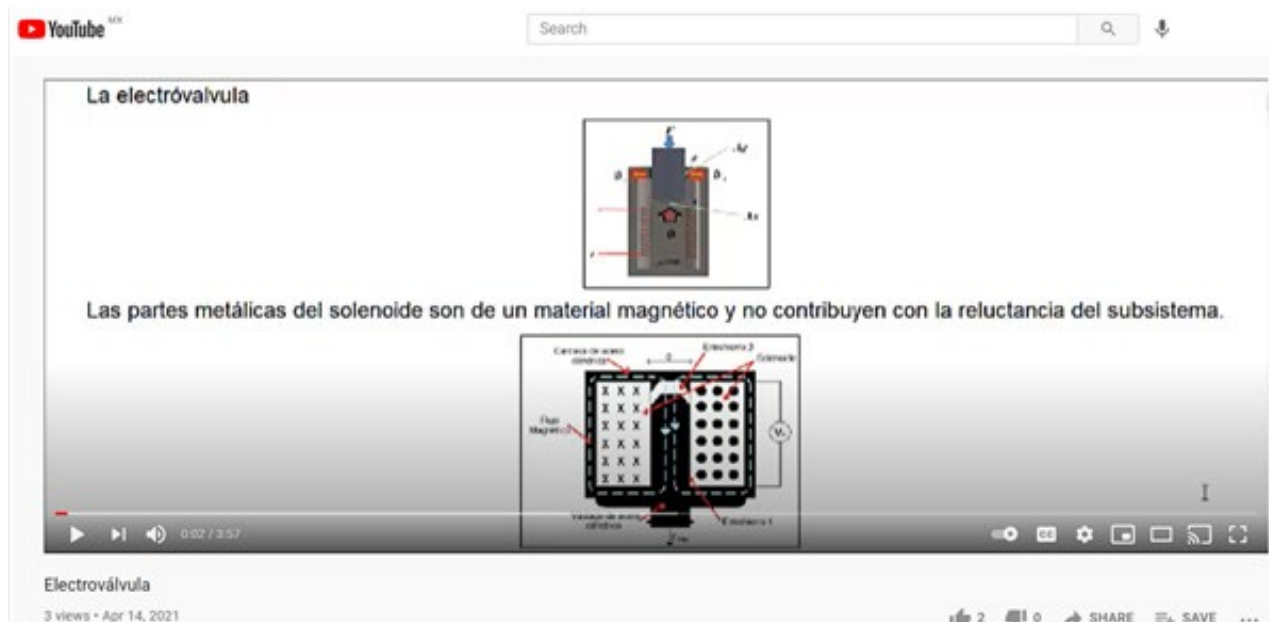


Figura 6. Ejemplo de un video preparado por un alumno.

CONCLUSIONES

La aplicación del método Aula Invertida permitió cumplir con los objetivos del curso en circunstancias adversas. Asimismo, consiguió que los alumnos construyeran por cuenta propia los fundamentos teóricos del curso, evaluaran su capacidad para la formación autodidacta y pudieran compartir colectivamente sus dudas y avances en el manejo de los temas. La contribución más importante de este método fue que los alumnos edificaran su capacidad deductiva y aplicaran las analogías a partir de sus conocimientos previos.

El método también permitió que los alumnos reforzaran cada concepto estudiado con ejercicios de repaso. La colectivización del conocimiento se logró a través de dos herramientas: la compartición de dudas y aprendizajes de manera escrita en las reuniones virtuales y la retroalimentación entre ellos a partir de la edición de videos de difusión (hechos por los alumnos). Los mayores

logros de este método fueron su capacidad de adaptación y el autoaprendizaje de los alumnos. El confinamiento resultó en una limitante, pues no hubo posibilidad de intercalar prácticas con clases teóricas ni fomentar contacto entre los alumnos.

REFERENCIAS

- [1] L. Gutiérrez, "Conectivismo como teoría de aprendizaje, conceptos, ideas, y posibles limitaciones", *Revista Educación y Tecnología*, (1), 2012.
- [2] R. Ortega, "El modelo centrado en el aprendizaje y su implicación en la formación de docentes", *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. (10), 2013.
- [3] J. Bergmann y A. Sams, *Dale vuelta a tu clase*, España: Ediciones SM, 2012.
- [4] F. Gatica Lara y T Uribarren Berrueta, "¿Cómo elaborar una rúbrica?", *Investigación en Educación Médica*, vol. 2, núm.5, 2012.
- [5] A. Vaerewyck. "Flip the Classroom Alum develops popular new teaching style", University of Colorado-Denver, 2013.
- [6] I. Pazmiño, *Planificación de la clase invertida*, Ecuador: Editeka Ediciones, 2014.

03

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LAS LABORES DE CUIDADOS NO REMUNERADOS A PARTIR DEL ENFOQUE DE SISTEMAS COMPLEJOS

A COMPLEX SYSTEMS APPROACH TO MULTIDIMENSIONAL
ANALYSIS IN RELATION TO UNPAID CARE WORK



Lorena Suárez Álvarez¹
Daniel García Casarrubias^{1*}

¹Doctorado en Innovación Tecnología y Hábitat, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México
Correo: lsuarez13@alumnos.uaq.mx,

*Correo: daniel.garcia.casarrubias@uaq.edu.mx



RESUMEN

Se propone la implementación de un análisis con base en el enfoque de sistemas complejos para estudiar las labores de los cuidados no remunerados, con la intención de facilitar la comprensión de la complejidad alrededor del fenómeno. Las dimensiones que se incluyen en el análisis son los ámbitos político, económico y socioespacial. El enfoque de sistemas complejos permitió identificar los elementos, sus vinculaciones e interdependencia, así como la repercusión que existe entre las dimensiones y la dinámica del sistema, alrededor de las labores de cuidados no remunerados. Los resultados sugieren que la aplicación de análisis con base en el enfoque de sistemas complejos permite comprender los fenómenos sociales desde la complejidad, así como vislumbrar a profundidad la correlación que existe entre sus elementos.

Palabras clave: sistemas complejos, cuidados no remunerados, análisis multidimensional, género, fenómenos sociales.

ABSTRACT

Hay un aspecto de la vida cotidiana que está fuera de toda consideración: las tareas del hogar. Los quehaceres domésticos son un aspecto casi invisible que históricamente se ha asignado a las mujeres: es necesario visibilizarlos.

The study of unpaid care work requires a multidimensional analysis that can be obtained through the implementation of complex systems. It is proposed that this approach could provide understanding regarding the complexity of the social phenomenon. The methodology developed included three analysis dimensions, political, economic and sociospatial. The analysis discussion provides insight on the elements, connections and interdependence relationships

among the selected dimensions that surround the unpaid care work system. Based on the results, it can be concluded that the complex systems approach allows a deeper understanding of the complexity involved in social phenomena, such as unpaid care work.

Keywords: complex systems, unpaid care work, multidimensional analysis, gender, social phenomenon.

INTRODUCCIÓN

La ciudad se puede entender como el sitio donde se conjugan lo espacial y lo social. Su diseño, organización e infraestructura se relacionan de manera directa con las necesidades diarias de sus habitantes [1]. El concepto de vida cotidiana ha evolucionado y se ha construido desde distintas perspectivas: sus significados son diversos y amplios. Como referencia para este análisis, partimos de la definición que propone la Dra. Adriana Cioccolto [1], quien la describe como:

El conjunto de actividades que las personas realizan para satisfacer sus necesidades en las diferentes esferas de la vida que incluyen las tareas productivas, reproductivas, propias y políticas o comunitarias. Estas actividades se llevan a término en un soporte físico (barrio, ciudad, territorio) y en un tiempo determinado.

Las labores de cuidados se refieren a las actividades indispensables para satisfacer las necesidades básicas de las personas [2]. Involucran, además de elementos físicos, aspectos simbólicos que se relacionan con las dinámicas particulares de cada cultura.

Tabla 1. Actividades incluidas en la dimensión de los cuidados

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN.
Labores de Cuidados	El autocuidado
	El cuidado directo de otras personas: la actividad interpersonal de cuidado
	La provisión de las precondiciones en las que se realiza el cuidado: la limpieza de la casa, la compra y la preparación de alimentos.
	Gestión del cuidado: coordinar horarios, realizar traslados, supervisar el trabajo de personas cuidadoras remuneradas, etc.
	Atender necesidades de personas dependientes: niños y niñas, personas mayores, enfermas o con discapacidades.
	Atender las necesidades de personas autónomas

Las labores de cuidados son intrínsecas a la vida cotidiana de las personas, al sostenimiento de las familias y los hogares. A lo largo de la historia, han tenido una función esencial en el soporte del sistema social y económico [2]. Estas actividades se encuentran inmersas en dinámicas complejas que involucran ámbitos como el económico, político y social [2]. El presente artículo tiene como finalidad plantear un análisis sistémico y multidimensional de las labores de cuidados no remunerados, con la intención de visibilizar la complejidad, interdependencia e interrelaciones de los aspectos de este fenómeno, y evitar aproximaciones parciales y reduccionistas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El método de análisis es el enfoque de sistemas complejos. Por medio de este recurso, es posible

examinar las labores de cuidados no remunerados desde una aproximación multidimensional. De acuerdo con Edgar Morin [3], la complejidad es un tejido de eventos, relaciones de azar indeterminadas y diversas dimensiones que se retroalimentan; es a partir de estas interacciones que se constituye nuestro mundo fenoménico. A partir de esta descripción, las labores de cuidados no remunerados se encuentran inmersas en un sistema complejo. Estos conjuntos de elementos interrelacionados se caracterizan por tres condiciones específicas: la interrelación entre sus componentes, la repercusión directa de estos elementos sobre el comportamiento del sistema y, por último, la manera en que la conducta y la dinámica de los elementos sistémicos dependen de las de otros [4]. Estas condiciones se encuentran presentes en nuestro objeto de estudio.

En la presente propuesta, se abordarán tres dimensiones analíticas de las labores de cuidados no remunerados: la económica, la política y la social. Como parte de la dimensión social, se analizará también su manifestación en el ámbito espacial urbano. En la Figura 1, se muestra un diagrama metodológico de la propuesta de análisis.

Para la construcción del estudio, se utilizó información generada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el censo más reciente, así como información publicada en el Diario oficial de la Federación (DOF).



Figura 1. Diagrama metodológico de análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

LABORES DE CUIDADOS NO REMUNERADOS: DIMENSIÓN ECONÓMICA

La Cuenta Satélite del Trabajo No Remunerado de los Hogares (CSTNRH) proporciona información relacionada con la valoración económica del trabajo no remunerado y otras actividades domésticas que realizan las personas para satisfacer sus necesidades de bienestar: cuidados y apoyo, alimentación, limpieza y mantenimiento a la vivienda, compras y administración del hogar, ayuda a otros hogares y trabajo voluntario, así como la limpieza y cuidado de la ropa y calzado. La CSTNRH proporciona información relacionada con el Valor

Económico Total del Trabajo No Remunerado de los Hogares (VTNRH), integrado por porcentajes generados por distintos rubros: la producción de bienes de autoconsumo (5.5 %), las labores realizadas por niños y niñas entre 5 y 11 años de edad (0.9 %) y, finalmente, las labores domésticas y de cuidados (93.6 %) [5].



Figura 2. Aporte de las labores domésticas y de cuidados al VTNRH, Fuente: [5].

En la Fig. 2, se desglosan las actividades que integran estas tareas, así como los porcentajes que aportan cada una en la construcción del total del VTNRH; el rubro de cuidados y apoyo es el que más se destaca, con un aporte del 27.1 % [5].

APORTE ECONÓMICO AL PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB)

El Instituto de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social (UNRISD) estima que si fuera asignado un valor económico a las actividades que integran el trabajo no remunerado, este porcentaje se encontraría entre el 10 % y el 39 % del PIB de un país [6]. De acuerdo con el INEGI, en México, en el año 2019 el VTNRH aportó al PIB nacional 5.6 billones de pesos, más valor que las actividades de comercio, las industrias manufactureras, los servicios inmobiliarios, la construcción, los transportes y los servicios educativos [5], como se puede apreciar en la Figura 3.

El aporte total al PIB nacional del trabajo doméstico y de cuidados no remunerados fue de 22.8 %;

las mujeres aportaron 16.8 puntos a este indicador, mientras los hombres únicamente aportaron 6 puntos [5]. Esta situación evidencia los efectos reproductores de desigualdades estructurales de las dinámicas derivadas de la división sexual del trabajo.

Dentro de las estadísticas, también se proporcionan datos que clasifican en porcentaje el aporte al PIB de cada una de las actividades que conforman el trabajo doméstico y de cuidados en los hogares. En este sentido, las actividades de cuidados y apoyo son el rubro que más aportan, con 6.6 puntos; las tareas relacionadas con la alimentación aportan 4.9 puntos; la limpieza y mantenimiento de la vivienda, 4.5 puntos; las compras y administración del hogar, 2.8 puntos; la ayuda a otros hogares y trabajo voluntario, 2.2 puntos; finalmente, la limpieza y cuidado de la ropa y calzado, 1.8 puntos [5].

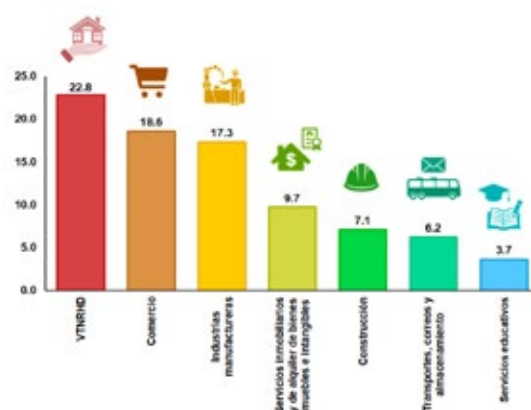


Figura 3. VTNRH comparado con actividades económicas del país, 2019. (Porcentaje respecto al PIB a precios corrientes). Fuente: [5].

LABORES DE CUIDADOS NO REMUNERADOS: DIMENSIÓN LEGAL

Los esfuerzos históricos y la participación activa de grupos de mujeres, organizaciones y movimientos feministas han logrado la articulación de un marco legal que

incluye la perspectiva de género y fomenta la igualdad sustantiva entre las y los miembros de la sociedad [7]. Entre estas acciones destacan: la promulgación de la Ley del Instituto Nacional de las Mujeres en el año 2001; la Ley Federal para Prevenir y Eliminar la Discriminación, emitida en el año 2003; la Ley General para la Igualdad entre Mujeres y Hombres en el 2006, el Sistema Nacional para la Igualdad entre Mujeres y Hombres (SNIMH) y el Programa Nacional para la igualdad entre Mujeres y Hombres (Proigualdad) [7].

Vinculado al Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, el 22 de diciembre de 2020, el Diario Oficial de la Federación (DOF) presentó el Programa Nacional para la Igualdad entre Mujeres y Hombres (Proigualdad, 2020-2024), el cual está enfocado en dar respuesta a las necesidades y deseos de mujeres y niñas, así como en crear las condiciones necesarias para lograr avances en la igualdad sustantiva y en contra de la discriminación [8].

Se menciona y reconoce que, pese a los avances logrados en relación con los derechos de las mujeres, aún existen brechas de desigualdad importantes que ubican a las mujeres de todas edades en situaciones de vulnerabilidad, desigualdad y violencia estructural, resultado de relaciones de poder históricas y culturalmente determinadas por

la dominación masculina en todos los ámbitos de la vida social [8].

Igualmente, se hace referencia a la correspondencia inherente entre las desigualdades estructurales de género y el sistema patriarcal

mediante el cual se construyen, reproducen, naturalizan, legitiman y perpetúan los prejuicios en contra de las mujeres en las esferas social, económica y política [8]. Entre los factores de desigualdad estructural, el Programa Proigualdad 2020-2024 asevera que culturalmente se ha designado a las mujeres como responsables de la realización de las tareas domésticas, reproductivas y de cuidados no remunerados [8]. Esta división sexual del trabajo limita el acceso de las mujeres a las actividades laborales remuneradas, lo cual vulnera su autonomía económica y desarrollo personal.

La Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) corrobora la situación, y además enfatiza la brecha salarial que se suma a estas dinámicas de desigualdad. En el año 2018, el 53 % de las mujeres obtuvieron ingresos de hasta un salario mínimo, mientras que, en el caso de los hombres, el 70 % contaban con ingresos superiores a los 5 salarios mínimos. El promedio de ingreso mensual para las mujeres fue de \$3 557 pesos; en comparación, el ingreso mensual de los hombres fue de \$4 446 pesos, lo cual representa una diferencia del 25 % [9]. Con la intención de combatir la desigualdad sistemática contra las mujeres, el Programa Proigualdad ha establecido seis objetivos prioritarios [8]:

1. Potenciar la autonomía económica de las mujeres para cerrar brechas históricas de desigualdad.
2. Generar las condiciones para reconocer, reducir y redistribuir los trabajos domésticos y de cuidados de las personas entre las familias, el Estado, la comunidad y el sector privado.
3. Mejorar las condiciones para que las mujeres, niñas y adoles-

centes accedan al bienestar y la salud sin discriminación desde una perspectiva de derechos.

4. Combatir los tipos y modalidades de violencia contra las mujeres, niñas y adolescentes preservando su dignidad e integridad.
5. Posicionar la participación igualitaria de las mujeres en la toma de decisiones en los ámbitos político, social, comunitario y privado.
6. Construir entornos seguros y en paz para las mujeres, niñas y adolescentes.

El segundo objetivo prioritario se relaciona directamente con los trabajos domésticos y de cuidados, indicando la necesidad de reconocer, reducir y redistribuir estas labores entre diversas instancias, para reducir la carga asignada a las mujeres por estas labores. Dentro del Programa, se reconoce el aporte social y económico de las labores de cuidados, y se prioriza creación de políticas, bienes y servicios públicos que garanticen el derecho universal a recibir cuidados en condiciones dignas [8].

El Programa Proigualdad 2020-2024 también establece líneas estratégicas y acciones puntuales en pos de sus objetivos prioritarios. El segundo objetivo prioritario deriva en siete:

1. Fortalecer el marco institucional relativo a los trabajos domésticos y de cuidados a fin de garantizar modelos de actuación favorables a la corresponsabilidad, el reconocimiento y el ejercicio de dichas prácticas.
2. Ampliar el acceso a servicios de cuidados para que sean adecua-

dos, oportunos, de calidad y diseñados con perspectiva de género.

3. Impulsar el incremento de la participación del Estado y el sector Privado en el cuidado de las personas para organizarlos de manera corresponsable y equitativa.
4. Impulsar medidas que favorezcan la transformación de prácticas y normas socioculturales para promover la redistribución justa y equitativa de los trabajos de cuidados y del hogar.
5. Promover el reconocimiento del trabajo doméstico y de cuidados a fin de que se desempeñe en condiciones decentes y dignas
6. Estimar y difundir el valor social y económico de las labores de cuidado y del hogar para avanzar en su reconocimiento.
7. Promover la regulación y establecimiento de condiciones laborales compatibles con las responsabilidades familiares y necesidades personales de cuidado, para las personas que tienen empleo remunerado.

PROPUESTA DE UN SISTEMA NACIONAL DE CUIDADOS

La pandemia de COVID-19 ha visibilizado la importancia y trascendencia de las labores domésticas y de cuidados, así como la urgencia de repensar, replantear y reorganizar estas tareas desde la perspectiva de género a favor de la igualdad y el bienestar social [10]. Como resultado de la presión ejercida por grupos que luchan por los derechos de las mujeres, así como instancias gubernamentales que se suman a la demanda, como el Instituto Nacional de las Mujeres (Inmujeres), se ha



formado una propuesta de ley para la instauración de un Sistema Nacional de Cuidados [10].

Aun cuando la organización de las labores de cuidados se complejiza al incluir otras instancias además de las familias, la comunidad y el mercado, es importante subrayar la trascendencia de la participación activa del Estado en el ámbito legal [11]. El proyecto implica una modificación en los artículos constitucionales 4 y 73, los cuales hacen referencia a la institución del cuidado como un derecho constitucional y a la facultad del Congreso de la Unión para legislar en el tema de cuidados, respectivamente [12]. La propuesta de reforma constitucional integra los siguientes aspectos [13].

1. Reconoce expresamente el derecho de toda persona al cuidado digno que sustente su vida y le otorgue los elementos materiales y simbólicos para vivir en sociedad, así como el derecho a cuidar a quien lo requiera.

2. Se garantiza el derecho al cuidado digno, y para ello se implementará el sistema nacional de cuidados.

3. Se establece que tendrán prioridad en dicho sistema las personas que requieran cuidados por enfermedad discapacidad, niñas y niños, así como adultos mayores que vivan en condiciones de extrema pobreza y a las personas que realicen actividades de cuidado de las anteriores sin remuneración alguna

4. La obligación del Estado de velar y cumplir con el principio del interés superior de la niñez en los servicios para la atención cuidada y desarrollo integral infantil.

5. Se reconoce el derecho de toda persona a decidir la distribución del tiempo propio acorde a sus necesidades e intereses.

6. Establece la facultad del Estado para promover la corresponsabilidad entre mujeres y hombres en la actividad de cuidado.

7. Se faculta al Congreso de la Unión para expedir la ley general en materia de cuidados en la que se dispongan, entre otras cuestiones, los términos de la concurrencia entre la Federación, estados y municipios en el sistema nacional de cuidados.

La propuesta fue aprobada mediante dictamen el día 18 de Noviembre del año 2020 [14]. Una vez aprobada en la Cámara de Diputados, se envió al Senado y actualmente se encuentra a discusión en las Comisiones de Puntos Constitucionales para la Igualdad de Género y de Estudios Legislativos Segunda [15].

LABORES DE CUIDADOS NO REMUNERADOS: DIMENSIÓN SOCIAL Y ESPACIAL

La división sexual del trabajo se refiere a la manera en que cada sociedad, de acuerdo con los roles de género que se considera adecuados, distribuye las tareas a hombres y mujeres [16]. De acuerdo con el Instituto de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social (UNRISD), como resultado de esta segregación, las mujeres son quienes desempeñan la mayoría de las labores de cuidado a nivel mundial [6], y aportan



Figura 4. Distribución del tiempo total de trabajo a la semana de la población de 12 años y más, por sexo y tipo de trabajo, 2019. Fuente: [19].

una contribución significativa al bienestar social y a la economía de los países a través de la reproducción de la fuerza de trabajo.

La distribución de las tareas de cuidados es determinante en la reproducción de desigualdades sociales y económicas [2]; el espacio público y el trabajo productivo remunerado se asigna a los hombres, y el trabajo reproductivo no remunerado a las mujeres en el espacio privado [17]. Esta organización responde a patrones derivados de creencias y costumbres; es decir, son formas de organización que se derivan de construcciones sociales [18]. Entre las consecuencias adversas para las mujeres se encuentran las bajas posibilidades de inserción en espacios extradomésticos y su precario desarrollo profesional, acceso a la educación, a la salud, al descanso y al ocio, además de la inhibición del pleno ejercicio de sus derechos [18].

La Encuesta Nacional sobre el Uso del Tiempo (ENUT) revela las desigualdades de género vinculadas a la inequitativa distribución del tiempo y cargas de trabajo, sobre todo en lo referente al trabajo doméstico y de cuidados no remunerado. A partir de los datos obtenidos, es posible visibilizar la repartición diferenciada que existe entre las dinámicas masculinas y femeninas [19]. La distribución del tiempo total de trabajo entre

hombres y mujeres confirma los efectos de la división sexual del trabajo. De acuerdo con los datos, las mujeres destinan el 31 % de su tiempo al trabajo remunerado para el mercado y el 67 % a la realización de trabajo no remunerado de los hogares, el 3 % restante lo dedica a la producción de bienes para uso exclusivo del hogar [19]. Para las mujeres, el bien más escaso es el tiempo [20]. Respecto a las dinámicas masculinas, la gestión del tiempo es notoriamente distinto, al destinar el 69 % al trabajo remunerado para el mercado, únicamente el 28 % al trabajo no remunerado de los hogares, y el 3 % restante a la producción de bienes para uso exclusivo del hogar, como se puede ver en la Figura 4.

Los hombres, independientemente de que sean población económicamente activa (PEA) y destinen a su jornada laboral un promedio igual o mayor a las 40 horas a la semana, consignan entre 11 y 13 horas semanalmente al trabajo doméstico, de cuidados y de apoyo a otros hogares [19]. En el caso de las mujeres, aun cuando son laboran jornadas completas de trabajo remunerado semanal, no existe una reducción significativa en las horas dispuestas al trabajo doméstico, de cuidados y de apoyo a otros hogares: 25.7 horas a la semana se

designan a estas labores (Figura 5). Queda clara la sobrecarga de trabajo que soportan las mujeres, denominada “la doble jornada” [19].

LABORES DE CUIDADOS NO REMUNERADOS, EN LA DIMENSIÓN ESPACIAL URBANA.

Las labores de cuidados no remunerados suponen una mayor cantidad de actividades cotidianas; estas se vinculan con la movilidad, el uso del tiempo y del espacio en la ciudad [1]. La Figura 6 representa los patrones de movilidad de una persona libre de las labores de cuidados no remunerados: su movimiento tiende a ser lineal y simple en comparación con los recorridos de una persona que sí es responsable de tales las labores; en este caso, sus trayectos son más complejos y poligonales. Este análisis faculta concluir que las labores de cuidados no remunerados implican una mayor inversión de tiempo y un uso diferenciado del espacio.

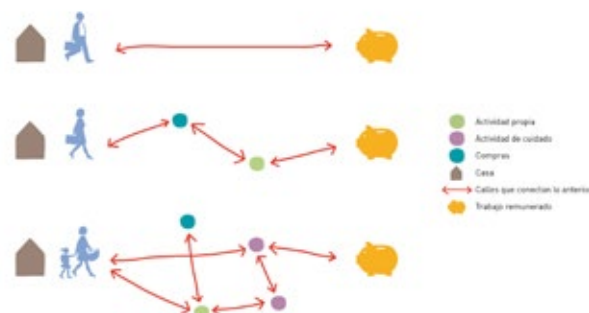


Figura 6. Patrones de movilidad y cuidados. Fuente: [1].

res de cuidados. De acuerdo con Dolors Comas-d’Argermir, aun cuando las políticas públicas dictaminan e influyen en la provisión de servicios e infraestructuras urbanas, el análisis de los patrones de movilidad y accesibilidad a estos servicios cobra importancia, ya que son factores determinantes en su utilización [22].

En este sentido, el estudio de las diferentes dinámicas resulta fundamental en la construcción de procesos de diseño y planeación urbana con perspectiva de género y que procuren la articulación de políticas de gestión de tiempo, recursos

y prestaciones. En su conjunto, permitirán generar líneas de acción enfocadas a la reorganización y redistribución de las labores de cuidados entre las familias, el Estado, el mercado y la comunidad [22].

LABORES DE CUIDADOS NO REMUNERADOS: ANÁLISIS SISTÉMICO A PARTIR DE LAS DIMENSIONES ECONÓMICA, POLÍTICA Y SOCIAL.

Queda clara la correlación inherente entre los ámbitos económico, político, social y la manera en que los tres principios de los sistemas complejos se ven materializados en sus vinculaciones. Los cambios en cada uno de estos campos repercuten directamente en las otras dimensiones, alterando de esta forma su dinámica y relaciones.



Fig. 5. Promedio de horas a la semana dedicadas al trabajo doméstico, de cuidados y apoyo a otros hogares, según condición de participación económica y sexo, 2019. Fuente: [19].

En el ámbito urbano, el acceso a los servicios e infraestructura depende de su organización y distribución; en otras palabras, las características del espacio construido influyen en la movilidad y, por lo tanto, en la inversión de tiempo necesaria para acceder a ellos [21]. Esto es aún más evidente al centrar el análisis a las labo-



Hay una relación directa entre las dimensiones económica y social: los tiempos de las mujeres se ven comprometidos al tener que realizar las labores de cuidados no remunerados, lo cual disminuye sus oportunidades para acceder a trabajos remunerados que implican jornadas completas. Como los datos lo reflejan, aun cuando las mujeres cuentan con un trabajo remunerado de tiempo completo, su periodo de ocio, descanso y desarrollo personal sufre, ya que sus responsabilidades en relación a las labores de cuidados no remunerados no disminuyen. Esta situación merma su calidad de vida.

En términos de sistemas y jerarquías, la dimensión política es un suprasistema que incluye las dimensiones económica y social. Las políticas públicas determinan la oferta de bienes, servicios, infraestructura y el acceso a prestaciones; por tanto, lo político es el entorno activo que repercute en el subsistema pasivo económico y socioespacial. En la Figura 7 se enseña un mapa sistémico que ilustra las interrelaciones y dimensiones en torno a las labores de cuidados no remunerados.

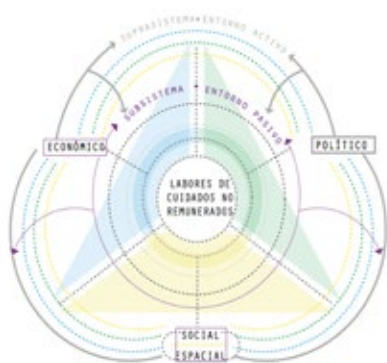


Figura 7. Mapa sistémico multidimensional de las labores de cuidados no remunerados.

La presión ejercida desde organizaciones civiles y grupos que defienden los derechos de las mujeres y como su acción desde lo social (entorno pasivo) ha

logrado incidir en las propuestas de reformas políticas (entorno activo), como en la actual propuesta de reforma del Sistema Nacional de Cuidados.

El mapa sistémico multidimensional plasma las dinámicas de interrelación e interdependencia entre las distintas dimensiones. La conciencia de esta situación permite interpretar el objeto de estudio desde un punto de vista sistémico e integral.

CONCLUSIÓN

La aplicación de análisis sistémicos multidimensionales auxilia en la comprensión de fenómenos sociales complejos, como lo son las labores de cuidados no remunerados. Al plantear fenómenos sociales a partir de un enfoque de sistemas complejos, es posible integrar diversas dimensiones y establecer de manera puntual los elementos, las relaciones y las vinculaciones, así como la interdependencia y correlación existente entre ellos. Una comprensión sistémica otorga la capacidad de plantear medidas y estrategias que aborden la problemática de manera holística, dejando de lado aproximaciones parciales y sesgadas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es factible gracias al apoyo de una beca a nivel Doctoral otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y la Universidad Autónoma de Querétaro, como parte del Programa Nacional de Posgrados de Calidad.

REFERENCIAS

- [1] A. Ciocoletto, "Espacios para la Vida Cotidiana. Auditoría de Calidad Urbana con perspectiva de Género", Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://www.punt6.org/guias-propias/>. [Último acceso: 20 Octubre 2020].
- [2] C. M. Rodríguez Enriquez y G. L. Marzoneto, "Organización social del cuidado y desigualdad: el déficit de políticas públicas de cuidado en Argentina", Revista Perspectivas de Políticas Públicas, pp. 103-134, 2016.
- [3] E. Morin, Introducción al pensamiento complejo, Barcelona: GEDISA, 2012.
- [4] F. d. J. Lara-Rosano, A. Gallardo Cano y S. I. Almanza Marquez, Teorías, métodos y modelos para la complejidad social: Un enfoque de sistemas complejos adaptativos, Ciudad de México: Colofón S.A. de C.V., 2017.
- [5] INEGI, "INEGI", 2 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia.html?id=6159>.
- [6] UNRISD, "United Nations Research Institute for Social Development", NA NA 2010. [En línea]. Available: [https://www.unrisd.org/unrisd/website/document.nsf/\(httpPublications\)/C5AD5FC6C3357C9FC1257AC6004DF7D3?OpenDocument](https://www.unrisd.org/unrisd/website/document.nsf/(httpPublications)/C5AD5FC6C3357C9FC1257AC6004DF7D3?OpenDocument). [Último acceso: 9 Agosto 2021].
- [7] Gobierno de México, "Instituto Nacional de las Mujeres", 25 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/inmujeres/acciones-y-programas/sistema-nacional-para-la-igualdad-entre-mujeres-y-hombres-259068>.
- [8] Diario Oficial de la Federación, "Diario Oficial de la Federación", 22 Diciembre 2020. [En lí-

- nea]. Available: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5608467&fecha=22/12/2020.
- [9] R. d. I. E. N. d. O. y. E. (ENOE), "INEGI", 2018. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/enoe_ie/enoe_ie2018_08.pdf. [Último acceso: 20 Agosto 2021].
- [10] Instituto Nacional de las Mujeres, "Instituto Nacional de las Mujeres", 29 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/inmujeres/articulos/la-revolucion-feminista-se-enfoca-en-las-labores-domesticas-y-de-cuidados>.
- [11] Gobierno de México, Secretaría de la Función Pública, "Rumbo a una propuesta de Estrategia Nacional para el Cuidado en México", 2019. [En línea]. Available: <http://aga.funcionpublica.gob.mx/aga/Home/Documento?doc=A4%20RENAC.pdf>. [Último acceso: 9 Agosto 2021].
- [12] Senado de México, "Primera parte del Foro Diálogo sobre el Sistema Nacional de Cuidados, del 16 de abril 2021", Senado de México, 16 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=FoMWUrS-chIA&t=3506s>. [Último acceso: 20 Agosto 2021].
- [13] Cámara de Diputados H. Congreso de Unión, "Cámara de Diputados H. Congreso de Unión", 2020. [En línea]. Available: <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/Comunicacion/Agencia-de-Noticias/2020/Noviembre/18/7767-Fundamenta-Aleida-Alavez-reforma-constitucional-en-materia-de-sistema-nacional-de-cuidados>. [Último acceso: 20 Agosto 2021].
- [14] "Poder Legislativo Federal Cámara de Diputados", 2020. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=LnV4YgnMKbA&list=PLJecBnylcBti-SzVkcBOY6t-FNYud5Vsz7&index=14>. [Último acceso: 2021 Agosto 20].
- [15] f. p. l. i. d. d. a. e. e. S. Sistema Nacional de Cuidados, "Senado de la República. Coordinación de comunicación social", 2021. [En línea]. Available: <http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/boletines/50745-sistema-nacional-de-cuidados-fundamental-para-la-igualdad-de-derechos-afirman-en-el-senado.html>. [Último acceso: 20 Agosto 2021].
- [16] INMUJERES, "Glosario para la igualdad", INMUJERES, 2020. [En línea]. Available: <https://campusgenero.inmujeres.gob.mx/glosario/terminos/division-sexual-del-trabajo>. [Último acceso: 20 Agosto 2021].
- [17] N. Rabotnikof, "Público-Privado", Debate Feminista, vol. 18, pp. 3-13, Octubre 1998.
- [18] OXFAM, "Cuidados y Desigualdades en México. Una lectura conceptual", 1 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.oxfamMexico.org/sites/default/files/Investigacion%20C-81n-CeciliaFraga.pdf>. [Último acceso: 6 Enero 2021].
- [19] Encuesta Nacional sobre Uso del Tiempo (ENUT) 2019, "INEGI", 2019. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enut/2019/doc/enut_2019_notatecnica.pdf. [Último acceso: 20 Agosto 2021].
- [20] Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, "Urbanismo y Prespectiva de Género", Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, 4 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=8XICAheuEE8>. [Último acceso: 2020 Agosto 2021].
- [21] O. Segovia, "Polistic Urban Lab- Civitic Estudios Urbanos", 29 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=tXRWvl2MZWs>.
- [22] D. Comas-d'Argemir, "Cuidados, género y ciudad en la gesetión de la vida cotidiana", de La erosión del espacio público en la ciudad neoliberal, Ciudad de México, Universidad Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Sociales. Facultad de Arquitectura, 2017, pp. 59 -90.

DISEÑO DE UNA BIORREFINERÍA PARA LA OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLE RENOVABLE DE AVIACIÓN A PARTIR DE MICROALGAS

DESIGN OF A BIOREFINERY FOR THE PRODUCTION OF
RENEWABLE AVIATION FUEL FROM MICROALGAE

Valeria Caltzontzin Rabell¹
María De La Luz Sánchez Estrada¹
Ruth Chávez Jaime¹
Claudia Gutiérrez Antonio^{1*}
Ana Angélica Feregrino Pérez¹
Juan Fernando García Trejo¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México

*Correo: claudia.gutierrez@uaq.mx



RESUMEN

La bioturbosina es una de las alternativas más promisorias para la recuperación económica sostenible del sector de la aviación. No obstante, a pesar de ser técnicamente factible, aún no es un rival económico respecto a su contraparte fósil. En este contexto, resulta atractivo el procesamiento en esquema de biorrefinería, donde se convierte de manera integral una biomasa para la producción de biocombustibles y productos de alto valor agregado. Asimismo, las microalgas resultan prometedoras para este proceso gracias a su rápido crecimiento y alto contenido de lípidos. Por ello, en el presente trabajo se diseñó una biorrefinería para obtener bioturbosina y productos de valor agregado a partir de una biomasa de microalgas. Los resultados muestran que es posible producir bioturbosina, proteínas, minerales, vitaminas, así como carbohidratos convertibles en bioetanol.

Palabras clave: biorrefinería, microalgas, biocombustibles, bioturbosina.

ABSTRACT

Renewable aviation fuel is one of the most promising alternatives for the sustainable economic recovery of the aviation sector. One of the main challenges in the production of biojet fuel is that, although it is technically feasible, it is not yet an economical competitive against its fossil counterpart. In this context, processing in a biorefinery scheme is attractive. In such system, a biomass is comprehensively converted for the production of biofuels, as well as high value-added products. On the other hand, microalgae are a promising bio-

mass for biofuel production due to their fast growth and high lipidic content. Therefore, in the present work, a biorefinery was designed to obtain renewable aviation fuel and value-added products from microalgae biomass. The results show that it is possible to produce biojet fuel, proteins, minerals, vitamins and carbohydrates that can be converted into bioethanol.

Keywords: biorefinery, microalgae, biofuels, biojet fuel.

INTRODUCCIÓN

Antes de la pandemia por el virus SARS-CoV-2, la aviación tenía el mayor crecimiento del sector transporte, con un ritmo estimado del 4.8 % anual. Sin embargo, de acuerdo con la Agencia Internacional de Transporte Aéreo, el 2020 se considera como el peor año en la historia de la aviación comercial. En este contexto, el sector de la aviación enfrenta el gran reto de lograr su recuperación económica sostenible. Dentro de las alternativas que contribuyen a dicho resarcimiento, se encuentra el combustible renovable de aviación, también conocido como *bioturbosina* o *bioqueroseno*.

El compuesto es una mezcla de hidrocarburos en el rango de puntos de ebullición del C8-16, y consta principalmente de parafinas, naftenos y aromáticos. La principal diferencia con la turbosina de origen fósil es que, dependiendo del proceso de producción, la bioturbosina puede o no contener compuestos aromáticos. Éstos no afectan las propiedades de la bioturbosina; no obstante, su concentración determina el máximo volumen que puede ser empleado en vuelos comerciales. Dichos porcentajes pueden oscilar entre 10 % y 50 %, de acuerdo a la norma ASTM D7566 [1].

La bioturbosina puede producirse a partir de casi cualquier tipo de biomasa mediante distintas rutas de conversión, pero los rendimientos, así como los requerimientos energéticos, varían en cada una de ellas. Por ejemplo, los triglicéridos pueden convertirse en hidrocarburos renovables mediante hidrodeoxigenación, hidroisomerización e hidrocrackeo. Por otra parte, los azúcares y almidones pueden fermentarse para producir alcohol, que posteriormente se somete a reacciones de oligomerización, craqueo e isomerización para producir hidrocarburos renovables. Por su parte, los materiales lignocelulósicos pueden consignarse a un proceso de pirólisis seguido del hidrotatamiento del bioaceite obtenido, o bien gasificarse y posteriormente sintetizarse mediante el método de Fischer-Tropsch. En todos los casos, los productos deben purificarse a través de un tren de columnas de destilación. De todos los procesos anteriormente descritos, el hidrotatamiento es el que da mayores rendimientos hacia la bioturbosina (entre 36 y 80 %). Sin embargo, el producto obtenido no es competitivo en precio con su contraparte fósil, debido principalmente al costo de la materia prima.

Con el objetivo de reducir el precio de este biocombustible, se propone su producción mediante esquemas de biorrefinerías. Éstas se definen como procesos de conversión de la biomasa en productos de valor agregado, biocombustibles y bioenergía; esto posibilita que la factibilidad financiera recaiga en varios productos, ayudando así a disminuir el costo de producción de la bioturbosina [2]. En este contexto, las microalgas constituyen una materia prima prometedoras para la producción de bioturbosina, debido

a su rápida tasa de crecimiento, alto contenido lipídico (principalmente triglicéridos, ácidos grasos libres, fosfolípidos y glicolípidos), y poco espacio requerido para su cultivo. La licuefacción hidrotérmica y la pirólisis de microalgas son los métodos usuales para obtener bioturbosina [3], pero el costo de operación es elevado.

El objetivo del presente trabajo es proponer un esquema de biorrefinería para la obtención de bioturbosina a partir de microalgas; se buscará el aprovechamiento integral de los microorganismos para la generación de bioenergía y productos de valor agregado. Los procesos aquí descritos fueron seleccionados por su factibilidad técnica, eficiencia e impacto ambiental moderado.

DISEÑO

MATERIA PRIMA

Existen dos características importantes por las que se eligió a la microalga como materia prima para la obtención de combustibles: el contenido de lípidos (porcentaje de la biomasa total) y la productividad específica ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) [4, 5]. Por ello, la cepa seleccionada debe tener una alta producción de lípidos y alta capacidad para absorber CO_2 con los menores requerimientos de nutrientes posibles [6].

En este trabajo se adoptó la microalga *Schizochytrium sp.*, ya que de ella pueden conseguirse entre 500 y 770 kg de aceite por tonelada de masa seca (kg/t) [7]. En la Tabla 1 se muestra la composición, así como los ácidos grasos que forman los lípidos empleados en el diseño de la biorrefinería [8].

Tabla 1. Composición de la microalga *Schizochytrium sp.* en base seca (Elaboración propia según [8]).

MACROMOLÉCULA	% BASE SECA
Proteína	13.2
Proteína soluble en agua	5.2
Agua	1.6
Ceniza	4.4
Carbohidratos	19.4
Almidón	1.2
Otros	0.41
Lípidos	61.4
Ácidos grasos	
C:14	5.3
C:15	2.9
C:16	50.0
C:17	0.8
C:18	1.5
C:23	8.9
DPA	5.0
DHA	24.1

DPA: ácido docosapentaenoico; DHA: ácido docosahexaenoico.

PRETRATAMIENTO: ROMPIMIENTO CELULAR

La sonicación consiste en generar ondas de sonido que se propagan por un medio líquido y resultan en ciclos alternados de alta y baja presión. Durante los ciclos bajos, se crean pequeñas burbujas que crecen hasta colapsar violentamente durante el ciclo de alta presión; este colapso provoca una cavitación. Como resultado de estas fuerzas, las estructuras celulares se rompen mecánicamente; con esta técnica se quebranta el 87 % de las células tratadas [9].

Cada aplicación ultrasónica requiere una combinación óptima de amplitud de sonicación ($96 \mu\text{m}$ por 10 s), presión del líquido (48 MPa) y temperatura ($< 32 \text{ }^\circ\text{C}$) [10]. El sonicador industrial UIP16000 es el adecuado para la tarea, puesto que maneja flujos de entre $20\text{-}100 \text{ m}^3/\text{h}$ [9] y utiliza una energía de $800 \text{ J}/10 \text{ ml}$. Ésta última



debe gestionarse con cautela, ya que puede inducir la formación de radicales libres si aumenta más allá de los parámetros [10].

EXTRACCIÓN DEL ACEITE: EXTRACTOR DE FLUIDOS SUPERCRÍTICOS

Para su extracción, la mayoría de los compuestos de interés requieren el uso de solventes, los cuales pueden degradar o dejar residuos en el producto. En contraparte, la sustracción de aceite mediante fluidos supercríticos no genera residuos tóxicos, ya que no utiliza sustancias corrosivas.

Se aplicó un sistema de CO_2 supercrítico. El dióxido de carbono de estas características conjuga los beneficios de un gas y un líquido: la solubilidad sin tensión superficial que ofrece posibilita los procesos más sensibles [11]. Otras condiciones de extracción incluidas fueron temperatura y presión superiores a 31 °C y 74 bar [12]. Los rendimientos alcanzaron hasta el 85 % (una tasa comparable con otras metodologías como la Soxhlet), utilizando una menor cantidad de reactivo en un tiempo más breve [13].

DESOXIGENACIÓN

Las cantidades sustanciales de ácido carboxílico de alta volatilidad (-10 % w/w), tales como los ácidos acético y fórmico, contenidas en los bioaceites conducen a valores bajos de pH (de 2 a 3). Combinados con el agua, estos ácidos son la principal causa de los atributos corrosivos de los óleos a temperaturas elevadas; debido a esta propiedad, los materiales comunes de construcción como el carbono, acero y aluminio han demostrado ser inadecuados para operar con bioaceites. Adicionalmente, la presencia de compuestos orgáni-

cos altamente reactivos causa la inestabilidad del bioaceite durante el almacenamiento afectando la viscosidad y la densidad [14]. La descarboxilación o desoxigenación de aceites aumenta la densidad de energía de la bioturbosina, y permite la remoción, por ejemplo, de los ésteres o compuestos oxigenados innecesarios en dichos combustibles [15].

CRAQUEO E ISOMERIZACIÓN

El craqueo es un importante proceso de refinación en el que moléculas pesadas de hidrocarburos se rompen en hidrocarburos más ligeros en presencia de hidrógeno; se lleva a cabo por los métodos térmico, catalítico, o de hidrocrqueo [16]. Existen estudios sobre los diferentes tipos y proporciones de metales de hidrogenación bimetalica que se utilizan junto con el soporte ácido de zeolita [17, 18]; por ejemplo, los productos enumerados en la Tabla 3 se obtuvieron del hidrocrqueo e hidroisomerización del n-heptano durante un experimento con la formación de n-parafinas craqueadas [19].

El catalizador empleado consta de fibras de Zeolita NiO-WO_3 , y durante las dos primeras horas de reacción mostró un desempeño destacable para el hidrocrqueo de n-heptano a 400 °C bajo 5 bar de presión de hidrógeno, así como una conversión total superior y menos formación de coque y olefina en comparación con las partículas. Estos resultados revelan el prometedor potencial del compuesto modelo en su forma fibrosa como catalizador de hidrocrqueo [19].

DESTILACIÓN

La corriente renovable de hidrocarburos generada en la sección reactiva (240 °C y 60 bar) se alimentó a una secuencia de destilación para separar tres productos: hidrocarburos (C3-C7), bioturbosina (C8-C16) y diésel verde (C17 y C18). Por otra parte, la purificación de las fracciones renovables de hidrocarburos se dio a través de una secuencia de destilación térmicamente acoplada para disminuir el consumo total de energía del proceso. Esta operación intensificada es sustentable y reduce los costos de los servicios auxiliares [20].

Tabla 2. Productos generados a partir del craqueo de n-heptano (Elaboración propia con datos de [19]).

ISÓMEROS	CRAQUEO	OTROS
2-metil-hexano	n-propano	Tolueno
3-metil-hexano	n-butano	Olefinas
2, 4-dimetil-pentano	i-butano	1,3-dimetil-ciclohexano
3,3-dimetil-pentano	n-pentano	2-metil-heptano
2,2-dimetil-butano	2-metil-pentano	coque
	3-metil-pentano	
	n-hexano	

OBTENCIÓN DE PROTEÍNAS A PARTIR DE LA BIOMASA RESIDUAL

El residuo se aprovechó para la extracción de proteína como alimento para animales de acuerdo con [22]. A continuación, se describe el proceso:

Se diluyó la biomasa residual en agua destilada a 50 g/kg y pH 7.0 (Etapa I). La solución se agitó durante 2 h a 25 °C, y luego se separó con un filtro de 0.297 mm. El filtrado (partículas < 0.297 mm) se centrifugó a 3000 g durante 30 min a 20 °C, y el sobrenadante se ultrafiltró a través de una membrana de 10 kDa durante 5 h hasta obtener un factor de reducción de volumen igual a 2.

A partir del residuo de filtración de la Etapa I (partículas > 0.297 mm) se procedió a una segunda etapa de extracción (Etapa II). Para ello, el residuo se diluyó nuevamente en agua destilada a 50 g/kg y pH 7.0; la solución obtenida se agitó durante 2 horas a 95 °C, y luego se centrifugó a 3000 g durante 30 minutos a 45 °C. El hidrolizado se llevó a cabo en un reactor. Las enzimas dispuestas para esta etapa experimental fueron *Fungal Protease Concentrate* (Genecor, Arroyito, Argentina) y *Flavourzyme* (Sigma-Aldrich, St.

Louis, MO, EEUU); las condiciones de operación: 55 °C, pH 4.3 y E/S: 5 % (P/P) para *Fungal Protease Concentrate*, y 55 °C, pH 7.0 y E/S: 2 % (P/P) para *Flavourzyme*. El hidrolizado se ejecutó por 3 h con la *Fungal Protease Concentrate*, más 4 h con la enzima *Flavourzyme*. Una vez finalizada la hidrólisis, las enzimas se inactivaron por tratamiento térmico. El hidrolizado obtenido se puso en centrifugación a 2000 g durante 30 min a 4 °C y el sobrenadante fue liofilizado.

OBTENCIÓN DE PIGMENTOS A PARTIR DE LA BIOMASA RESIDUAL

La biomasa residual se secó a 50 °C; consecutivamente se mezcló con éter de petróleo (1:1) p/v, y se centrifugó durante 10 min a 2800 rpm. El sobrenadante contenía los pigmentos: esta operación se iteró varias veces con el pellet hasta extraer todo el color; posteriormente, se pasó por un evaporador rotatorio a 66 °C; por último, el extracto de pigmento se almacenó a -20 °C. En todo el proceso debe evitarse la presencia de oxígeno y luz [23].

OBTENCIÓN DE VITAMINAS A PARTIR DE LA BIOMASA RESIDUAL

A la biomasa residual se le agregó KOH etanólico, y las vitaminas se extrajeron con éter de petróleo.

Para las vitaminas A y E, el éter de petróleo se eliminó al vacío y el residuo se redisolvió en metanol [24].

DISEÑO FINAL

Con base en las operaciones descritas en la sección dos, se integró la biorrefinería para la producción de bioturbosina y productos de valor agregado. El flujo de alimentación de microalgas a la biorrefinería es de 1000 ton/h. En la Figura 1 se muestra la secuencia general del proceso para la obtención de bioturbosina a partir de la microalga, así como los siguientes productos obtenidos:

- 92.1 t/h aceite
- 132 t/h proteínas- suplemento alimenticio
- 44 t/h minerales
- 4.1 t/h fósforo
- 16 t/h agua-agua de riego
- 194 t/h carbohidratos

Aproximadamente el 98.2 % (190.51 t) de los carbohidratos se convierten en monosacáridos (azúcares fermentables y no fermentables) tras una sacarificación ácida diluida. Estos azúcares funcionan como medio de cultivo para la producción de bioetanol con un rendimiento del 79.3 % [21]. Por otra parte, los

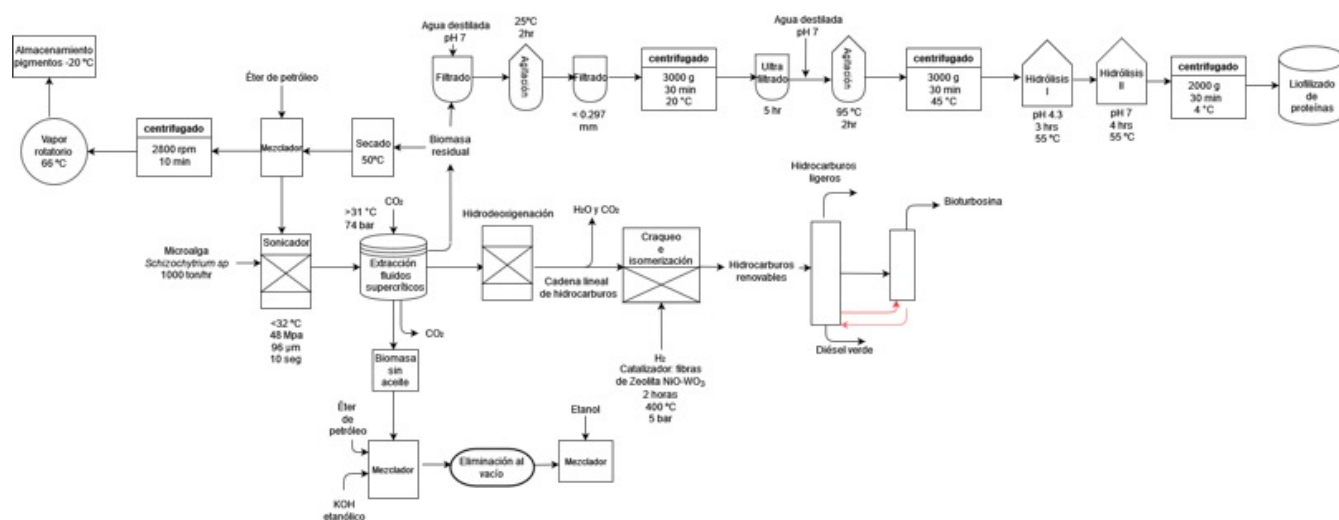


Figura 1. Diseño de la biorrefinería propuesta.



servicios auxiliares en la biorrefinería se detallan a continuación:

- Agua
- Gas
- Electricidad
- Vapor
- Dióxido de carbono

La microalga contiene hasta un 77 % de lípidos [7], se extrajeron aproximadamente 650 ton/h de aceite de las 1000 ton/h del flujo de alimentación. De lo anterior se deduce que se pueden generar al menos 500 ton/h de bioturbosina, junto con productos de alto valor agregado como proteínas y vitaminas. Con estos datos, las microalgas constituyen una materia prima interesante para la producción de bioturbosina, y pueden ayudar a reducir costos y la huella de carbono que dejan los actuales combustibles. Sin embargo, es importante complementar el estudio con un análisis energético que permita reducir el consumo de energía del proceso en aras de que sea más sustentable.

CONCLUSIONES

Se ha propuesto una biorrefinería para la conversión de microalgas en bioturbosina, bioenergía, así como otros productos de valor de agregado, tales como proteínas, minerales y fósforo; de igual manera, los carbohidratos generados se utilizan para producir bioetanol.

La diversidad de los productos generados, su venta y precios individuales, podrían ayudar a que el presente proceso sea redituable. A su vez, esto permitirá reducir los costos de producción y así impulsar el establecimiento de la cadena de suministro para la producción del combustible renovable de aviación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) así como a la Universidad Autónoma de Querétaro por las becas otorgadas para, V. Caltzontzin Rabell, M. L. Sánchez Estrada y R. Chávez Jaime.

REFERENCIAS

- [1] 2021. Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons, ASTM International, West Conshohocken. [Online]. Available: www.astm.org
- [2] C. Gutiérrez-Antonio, A. G. Romero-Izquierdo, F. I. Gómez Castro and S. Hernández. *Production Processes of Renewable Aviation Fuel*, 1st ed., Elsevier. pp. 266, 2021.
- [3] F. Jie, Y. Cuiyue, W. Jianghua, Z. Julia, H. Zhaoyin and L. Xiuyang. "Direct production of aviation fuels from microalgae lipids in water", *Fuel*, vol. 139, pp. 678–683, 2015.
- [4] M. Elmoraghy and I.H. Farag. "Bio-jet fuel from microalgae: reducing water and energy requirements for algae growth", *International Journal of Engineering and Science*, vol. 1, pp. 22-30, 2012.
- [5] R.W. Stratton, H.M. Wong, J.I. Hileman. "Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Alternative Jet Fuels. Partnership for Air Transportation Noise and Emissions Reduction", Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA. 2010.
- [6] L. Brennan and P. Owende. "Biofuels from microalgae; a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products", *Renewable Sus-*

tainable Energy Reviews, vol. 14, pp. 557–577, 2010.

- [7] J.K. Bwapwaa, A. Akash, C. Trois. "Possibilities for conversion of microalgae oil into aviation fuel: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1345–1354, 2017.
- [8] K. Kousoulaki. "Microalgae in fish farming". *Aquaculture Europe, Nature and Society*, vol. 40, pp. 5-10, 2015.
- [9] 2017. Hielscher – Ultrasound Technology. [Online]. Available: https://www.hielscher.com/i16000_p.htm
- [10] J. A. Gerde, M. Montalbo-Lombay, L. Yao, D. Grewell, T. Wang. "Evaluation of microalgae cell disruption by ultrasonic treatment", *Biosource Technology*, vol. 125; pp. 175-181, 2012.
- [11] 2017. Applied Separations. Supercritical fluids. [Online]. Available: <http://www.appliedseparations.com/supercritical.html>
- [12] 2017. Chemtron Science Laboratories Pvt. [Online]. Available: <http://www.chemtronlabs.com/supercritical.html#supercritical-co2-extractor>
- [13] A. Fratianni, M. Caboni, M. Irano, et al. "A critical comparison between traditional methods and supercritical carbon dioxide extraction for the determination of tocopherols in cereals", *European Food Research and Technology*, vol. 215, pp. 353–358, 2012.
- [14] I. Montoya, F. Chejne, E. Castillo. *Pirólisis rápida de biomasa*. Universidad Nacional de Colombia. pp. 113-114, 2013.
- [15] E.S. Perez-Cisneros, M. Sales-Cruz, R. Lobo-Oehmichen and T. Viveros-García. "A reactive distillation process for co-hydrotreating of non-edible vegetable oils and petro-diesel blends to produce green diesel

- fuel", *Computers & Chemical Engineering*, 2017.
- [16] C. Pham-Huu, G. Winé, J.P. Tessonnier, M.J. Ledoux, S. Rigolet and C. Marichal. "BETA zeolite nanowire synthesis under non-hydrothermal conditions using carbon nanotubes as template", *Carbon*, vol. 42, pp.1941-1946, 2004.
- [17] A.M. Alsobaai, R. Zakaria and B.H. Hameed. "Gas oil hydrocracking on NiW/USY catalyst: Effect of tungsten and nickel loading", *Chemical Engineering Journal*, vol. 132, pp. 77-83, 2007.
- [18] Y. Rezgui and M. Guemini. "Effect of acidity and metal content on the activity and product selectivity for n-decane hydroisomerization and hydrocracking over nickel-tungsten supported on silica-alumina catalysts", *Applied Catalysis A: General*, vol. 282, pp. 45-53, 2005.
- [19] S. F. Anis, G. Singaravel and R. Hashaikeh. "Electropsun Ni-W/zeolite composite fibers for n-heptane hydrocracking and hydroisomerization", *Materials Chemistry and Physics*, vol. 200, pp. 146-154, 2017.
- [20] C. Gutiérrez-Antonio, F.I. Gómez-Castro, S. Hernández, A. Briones-Ramírez. "Intensification of a hydrotreating process to produce biojet fuel using thermally coupled distillation", *Chemical Engineering and Processing*, vol. 88, pp. 29-36, 2015.
- [21] L.O. Kyung, O. You-Kwan, Y. L. Eun. "Bioethanol production from carbohydrate-enriched residual biomass obtained after lipid extraction of *Chlorella* sp. KR-1", *Bioresource Technology*, vol. 196, pp. 22-27, 2015.
- [22] R. E. Cian. "Aprovechamiento integral del alga *Phorphyra columbina*. Procesos de extracción de ficocomponentes (proteínas y polisacáridos). Estudio de sus propiedades bio y tecno-funcionales" (Doctoral dissertation), 2014.
- [23] F. Miao, D. Lu, Y. Li and M. Zeng. "Characterization of astaxanthin esters in *Haematococcus pluvialis* by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry", *Analytical biochemistry*, vol. 352, pp. 176-181, 2006.
- [24] M. R. Brown, M. Mular, I. Miller, C. Farmer and C. Trenerry. "The vitamin content of microalgae used in aquaculture", *Journal of Applied Phycology*, vol.11, pp. 247-255, 1999.

05

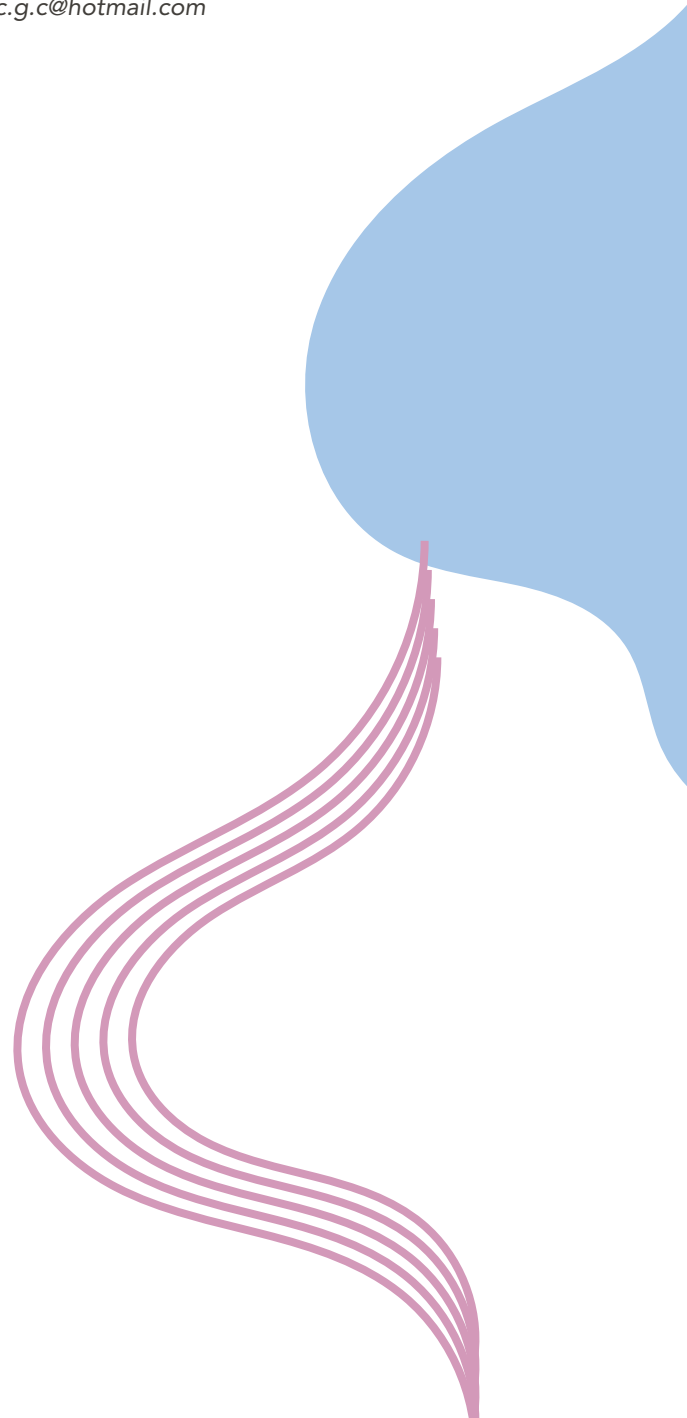
EL MODELO DE MARKOWITZ PARA LA SELECCIÓN DE PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN

MARKOWITZ'S MODEL FOR THE SELECTION OF INVESTMENT PORTFOLIOS

Guillermo Carlos Guerrero Camargo^{1*}
Víctor Antonio Aguilar Arteaga¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro

**guillermo.c.g@hotmail.com*





RESUMEN

El acceso a Internet ha fomentado el interés en las inversiones. Ahora, es posible realizarlas con aplicaciones de empresas en tiempo real desde un teléfono inteligente. Dentro de esta estrategia, se encuentra un proceso para escoger en qué invertir el dinero con el mayor rendimiento y el menor riesgo posible. Es decir, se resuelve de manera implícita el problema de la optimización de portafolios de inversión. La primera persona que planteó matemáticamente el problema de su selección fue Harry Markowitz, quien publicó, en los 50, un modelo que optimiza las carteras de inversión. El objetivo de este trabajo es explicar el modelo propuesto por Harry Markowitz y presentarlo a través de Excel para dos acciones: Amazon y Apple. Los elementos que utiliza el modelo fueron: matriz de covarianza, varianza y desviación estándar; este permite minimizar el riesgo y conocer el porcentaje de inversión precisa de cada acción. Con ayuda de Excel, es posible graficar el comportamiento de las carteras de inversión.

Palabras clave: IMA, Markowitz, Portafolio, Inversión, Selección, Excel.

En la década de 1950, el prominente economista Harry Markowitz desarrolló un sofisticado método para elegir un portafolio de inversiones minimizando el riesgo, pero maximizando el rendimiento. Aquí te lo describimos.

ABSTRACT

Internet access has fueled interest in investments. Now, it is possible to carry them out with company applications in real time from a smartphone. Within this strategy, there is a process to choose where to invest the money with the highest return and the lowest possible risk. In other words, the problem of optimizing investment portfolios is implicitly

solved. The first person who raised the problem of their selection mathematically was Harry Markowitz, who published, in the 1950s, a model that optimizes investment portfolios. The objective of this work is to explain the model proposed by Harry Markowitz and present it through Excel for two actions: Amazon and Apple. The elements used by the model were: covariance matrix, variance and standard deviation; this allows minimizing the risk and knowing the precise investment percentage of each action. With the help of Excel, it is possible to graph the behavior of investment portfolios.

Keywords: IMA, Markowitz, Portfolio, Investment, Selection, Excel.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con *Para entender la bolsa*, el origen del término titular se puede remontar al trueque de mercancías durante las ferias medievales. Desde entonces, pasando por la creación de la bolsa mexicana en 1908, es común invertir en diferentes mercados monetarios [7] y, en consecuencia, buscar la optimización del proceso de inversión. Esto es, maximizar la ganancia minimizando el riesgo. Por ejemplo, en 1934 se publicó el libro *Security Analysis* y se convirtió en un clásico de la época [3].

En 1950, un estudiante de doctorado en Economía en la Universidad de Chicago llamado Harry Markowitz observó que las personas tendían a diversificar sus inversiones para mitigar el riesgo. Es así como el alumno planteó el problema de su tesis doctoral: con el refrán "No pongas todos tus huevos en una misma canasta" en mente, estableció un modelo matemático para optimizar un

portafolio de inversión. Markowitz fue el primero en solucionar este problema con herramientas matemáticas, según lo explica su libro *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments* [5].

Después de este trabajo pionero, muchos investigadores explotaron, cuestionaron y mejoraron el modelo expuesto. Sin embargo, este se sigue aplicando actualmente por académicos y profesionales de las finanzas. Hay un acercamiento notable en el artículo "Estado del arte en teoría de portafolios: del análisis individual de acciones a la optimización multiobjetivo" [6]; sin embargo, es difícil seguirles la pista a los demás trabajos inspirados por la propuesta de Markowitz.

METODOLOGÍA CLÁSICA DE H. MARKOWITZ

Las acciones son títulos que representan parte del capital de una empresa. Esto implica que el propietario de una acción es acreedor de una parte de la empresa que emitió dicha acción. Por ejemplo, las acciones se compran y venden en la Bolsa Mexicana de Valores por medio de las "casas de bolsa", las cuales actúan como intermediarias [2]. Conviene definir que una cartera de inversión es un conjunto de instrumentos financieros seleccionados para realizar un negocio.

FUNDAMENTACIÓN

Una cartera de activos financieros es una inversión en la que se reparte la totalidad del negocio invertido en los diferentes activos que lo sustentan. El portafolio eficiente se deriva de un proceso de minimizar el riesgo maximizando el rendimiento. Este modelo se fundamenta en la relación entre el rendimiento promedio y su varian-

za. Este último valor aparece como una representación del riesgo en forma de desviación estándar.

El modelo se apoya en estos puntos:

1. Hipótesis de los mercados eficientes.
2. Los rendimientos de los activos siguen una distribución normal.
3. Se conoce el promedio, la varianza y las correlaciones de los rendimientos.

RIESGO Y RENDIMIENTO

El conjunto factible de carteras de inversión de dos activos se obtiene graficando las combinaciones del riesgo y rendimiento esperado.

El rendimiento para los periodos t y $t-1$ está dado por la Ecuación 1:

$$R_t = \frac{P - P_{t-1}}{P_{t-1}} \quad (1)$$

Donde: P_t y P_{t-1} son los precios de un activo financiero para los periodos t y $t-1$.

Por lo tanto, se define el rendimiento que se espera del activo para una muestra de T periodos como:

$$RE(R_t) = \bar{R} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T R_t \quad (2)$$

Mientras que el riesgo se define como:

$$RI(R_t) = DE(R_t) = \sqrt{Var(R_t)} = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (R_t - \bar{R})^2} \quad (3)$$

Se poseen activos financieros 1 y 2; y con las proporciones invertidas en cada uno de ellos w_1 y w_2 , es posible construir un portafolio de inversión $P(w_1, w_2)$, donde:

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (4)$$

Por lo anterior, el rendimiento esperado de $P(w_1, w_2)$ es:

$$RE(P) = w_1 \bar{R}_1 + w_2 \bar{R}_2 \quad (5)$$

y su respectivo riesgo:

$$RI(P) = \sqrt{w_1^2 Var R_1 + 2w_1 w_2 Cov(R_1 R_2) + w_2^2 Var R_2} \quad (6)$$

CONJUNTO FACTIBLE Y CONJUNTO EFICIENTE

Dado que la varianza del portafolio es:

$$Var(P) = w_1^2 Var R_1 + 2w_1 w_2 Cov(R_1 R_2) + w_2^2 Var R_2 \quad (7)$$

El papel de la covarianza en el riesgo del portafolio resulta importante, pues, mientras los valores positivos de la covarianza desarrollan un mayor riesgo del portafolio, los negativos lo reducen. Según lo anterior, la curva del conjunto factible será más pronunciada mientras más negativa sea la covarianza y viceversa.

Dado que el coeficiente de correlación ρ entre los dos activos está dado por:

$$\rho(R_1 R_2) = \frac{Cov(R_1 R_2)}{DE(R_1) DE(R_2)}, -1 \leq \rho \leq 1 \quad (8)$$

mientras menor sea ρ , mayor será la curva del conjunto factible y viceversa.

EL PORTAFOLIO DE MÍNIMO RIESGO

La cartera de mínimo riesgo o de mínima varianza se llama "portafolio óptimo". Este se encuentra si uno elige las proporciones invertidas en cada uno de los activos financieros (w_1 y w_2), con tal de que la varianza del portafolio sea la mínima. El asunto de optimización para encontrar el portafolio



con el mínimo riesgo con dos activos financieros está dado por:

$$\min w_1^2 Var R_1 + 2w_1 w_2 Cov(R_1 R_2) + w_2^2 Var R_2$$

$$w_1 + w_2 = 1, w_1 \geq 0, w_2 \geq 0$$

(19)

RESULTADOS

Se utilizaron precios de acciones de Apple y Amazon para optimizar una cartera de inversión a través de Excel. En la siguiente tabla se aprecian los valores de los activos Pa(Apple) y Pb(Amazon) a lo largo de 12 meses:

Tabla 1. Precio de los activos

PRECIO DE LOS ACTIVOS.		
Periodo (t)	Pa(Apple)	Pb(Amazon)
20-Sep	\$ 115.81	\$ 3 148.73
20-Oct	\$ 108.86	\$ 3 036.15
20-Nov	\$ 119.05	\$ 3 168.04
20-Dic	\$ 132.69	\$ 3 256.93
21-Ene	\$ 131.96	\$ 3 206.20
21-Feb	\$ 121.26	\$ 3 092.93
21-Mar	\$ 122.15	\$ 3 094.08
21-Abr	\$ 131.46	\$ 3 467.42
21-May	\$ 124.61	\$ 3 223.07
21-Jun	\$ 136.96	\$ 3 440.16
21-Jul	\$ 145.86	\$ 3 327.59
21-Ago	\$ 151.83	\$ 3 470.79

En la Tabla 2 se observan los rendimientos Ra y Rb por periodo de un año de los activos de la tabla:

Tabla 2. Rendimientos.

RENDIMIENTOS		
Periodo (t)	Ra(Apple)	Rb(Amazon)
1_2	-6.00 %	-3.58 %
2_3	9.36 %	4.34 %
3_4	11.46 %	2.81 %
4_5	-0.55 %	-1.56 %
5_6	-8.11 %	-3.53 %
6_7	0.73 %	0.04 %
7_8	7.62 %	12.07 %
8_9	-5.21 %	-7.05 %
9_10	9.91 %	6.74 %
10_11	6.50 %	-3.27 %
11_12	4.09 %	4.30 %

Sujeto a $w_1 + w_2 = 1$.

Sea la Ecuación 10:

$$s_1^2 = Var(R_1), s_2^2 = Var(R_2), s_{1,2} = Cov(R_1 R_2)$$

(10)

La función de Lagrange está dada por:

$$L = w_1^2 s_1^2 + 2w_1 w_2 s_{1,2} + w_2^2 s_2^2 + \lambda(1 - w_1 - w_2)$$

(11)

Mientras tanto, las condiciones de primer orden son estas ecuaciones:

$$\frac{\delta L}{\delta w_1} = 2w_1 s_1^2 + 2w_2 s_{1,2} - \lambda = 0$$

(12)

$$\frac{\delta L}{\delta w_2} = 2w_1 s_{1,2} + 2w_2^2 s_2^2 - \lambda = 0$$

(13)

$$\frac{\delta L}{\delta \lambda} = 1 - w_1 - w_2 = 0$$

(14)

Al resolver las ecuaciones de la 12 a la 14, se obtuvieron los siguientes resultados para las proporciones invertidas en cada uno de los activos:

$$w_1 = \frac{s_2^2 - s_{1,2}}{s_1^2 + s_2^2 - 2s_{1,2}} \quad (15)$$

$$w_2 = 1 - w_1 \quad (16)$$

El resultado anterior de nuevo se expresa de la siguiente forma:

$$w_1 = \frac{Var(R_2) - Cov(R_1, R_2)}{Var(R_1) + Var(R_2) - 2Cov(R_1, R_2)} \quad (17)$$

Para buscar el portafolio de dos activos financieros, se plantea el siguiente problema:

$$\min = w_1^2 Var R_1 + 2w_1 w_2 Cov(R_1 R_2) + w_2^2 Var R_2$$

(18)

En la Tabla 3, se tiene el promedio del rendimiento de los doce años, $RE(Ra)$ y $RE(Rb)$, la varianza de Ra y Rb , el riesgo RI que es la desviación estándar de Ra y Rb , y la Covarianza

Tabla 3. Promedio del rendimiento:

$RE(Ra:Apple)$	2.7096 %
$RE(Rb:Amazon)$	1.0279 %
$VAR(Ra)$	0.004832 %
$VAR(Rb)$	0.003127 %
$RI(Ra)$	6.9512 %
$RI(Rb)$	5.5916 %
$COV(Ra, Rb)$	0.002850 %

La matriz de Varianza y covarianza de los dos activos aparece en la Tabla 4.

Tabla 4. Matriz de varianza-covarianza

VARIANZA-COVARIANZA.		
	A	B
A	0.004832	0.002850
B	0.002850	0.003127

En la Tabla 5, se muestran tres carteras de diecinueve, donde Wa y Wb son los porcentajes invertidos en cada cartera, RE el rendimiento promedio de cada cartera, VAR la varianza y RI es el riesgo:

Tabla 5. Porcentaje invertido en cada cartera.

	P1	P2	P3
$Wa(Apple)$	5 %	10 %	15 %
$Wb(Amazon)$	95 %	90 %	85 %
$RE(P)$	1.1120 %	1.1961 %	1.2802 %
$VAR(P)$	0.003105 %	0.003094 %	0.003094 %
$RI(P)$	5.5719 %	5.5622 %	5.5627 %

En la gráfica de dispersión están los 19 portafolios. En el eje X se encuentra el riesgo y en el Y el rendimiento esperado. Aquí podemos ver el comportamiento de los portafolios:

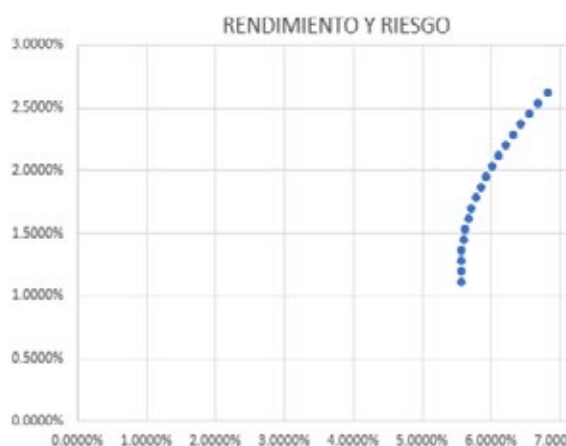


Figura 1. Gráfica de dispersión-Rendimiento-Riesgo.

En la Tabla 6 se obtiene el portafolio óptimo con ayuda de Excel. Si quisiéramos invertir dos millones de dólares con un riesgo mínimo de $RI(P) = 5.56\%$ y con Rendimiento $R(P) = 1.23\%$ y minimizando la varianza a $0.0031 = VAR(P)$, deberían invertirse \$ 245 283.66 dólares (el 12.26 %) a Wa , y \$ 1 754 718.32 dólares (el 87.73 %) a Wb .

Tabla 6. Portafolio Óptimo.

PORTAFOLIO ÓPTIMO	
$Wa(Apple)$	12.2642 %
$Wb(Amazon)$	87.7359 %
$Wa+Wb$	100 %
$R(P)$	1.2342 %
$VAR(P)$	0.003093 %
$RI(P)$	5.5611 %
$\$Wa(Apple)$	\$ 245 283.66
$\$Wb(Amazon)$	\$ 1 754 718.32

CONCLUSIÓN

El trabajo pionero de Markowitz es un buen punto de partida para estudiar el problema de optimizar una cartera de inversión con herramientas matemáticas. Este método nos permitió conseguir el portafolio óptimo con información como el rendimiento y el riesgo. Al final, el inversor decide si pone sus recursos o no, aun con esta información a la mano. Este análisis amplía nuestra visión con base en una formulación matemática que respalda los resultados; nos previene de hacer inversiones al azar y nos escuda de la mercadotecnia. Es necesario considerar que, aunque existen variables que no se pueden controlar y es difícil predecir qué pasará dentro de un año, el análisis de mercado da resultados actualizados con base en el historial: usar modelos matemáticos es lo más cercano a invertir dignamente.



REFERENCIAS

6

- [1] A. Mendizábal Zubeldia, L. M. Miera Zabalza y M. Zubia Zubiaurre, "El modelo de Markowitz en la gestión de carteras", Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea, *Cuadernos de Gestión*, vol. 2., núm.º 1, 2002.
- [2] A. Brito Gamaliel, B. Becerril Sánchez, *Finanzas Bursátiles*, Ciudad de México, México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos, 2011.
- [3] B. Graham, D. L. Dodd, *Security Analysis*, Estados Unidos: McGraw-Hill, 2009.
- [4] B. Graham, *El inversor inteligente*, Estados Unidos: Harper Collins, 2019.
- [5] M. Markowitz, *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*, New Haven, Connecticut: Yale University Press, 1959.
- [6] N. Ramírez Carmona y O. García Salgado, "Estado del arte en teoría de portafolios: del análisis individual de acciones a la optimización multiobjetivo", *Economía coyuntural. Revista de temas de coyuntura y perspectivas*, vol. 1, núm.4, pp. 101-144.
- [7] A. Rueda, *Para entender la bolsa*, Ciudad de México: CENGAGE Learning, 2008.
- [8] Investing.com [Online]. Available: <https://www.investing.com/equities/amazon-com-inc-historical-data>
- [9] S. Ross, R. Westerfield y B. Jordan, *Fundamentos de finanzas corporativas*, México: McGraw-Hill, 2014.



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE QUERÉTARO