



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA

REVISTA ARBITRADA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA



▲ *Nicotiana glauca*, especie invasora en el Río San Pedro - Meoquí. Chihuahua, México

VOLUMEN XIII . NÚMERO 2 . MAYO-AGOSTO 2019

INDIZADA EN **latindex**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

M.E. LUIS ALBERTO FIERRO RAMÍREZ
Rector

M.C. JAVIER MARTÍNEZ NEVÁREZ
Secretario General

M.E. ALFREDO RAMÓN URBINA VALENZUELA
Director de Investigación y Posgrado

M.C. FRANCISCO MÁRQUEZ SALCIDO
Director Administrativo

M.A.V. RAÚL SÁNCHEZ TRILLO
Director de Extensión y Difusión Cultural

M.A. HERIK GERMÁN VALLES BACA
Director Académico

M.I. RICARDO RAMÓN TORRES KNIGHT
*Director de Planeación y Desarrollo
Institucional*



DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA
Editor en Jefe

DR. ÓSCAR ALEJANDRO VIRAMONTES OLIVAS
Editor adjunto

M.E.S. NANCY KARINA VENEGAS HERNÁNDEZ
Procesos Editoriales

PEDRO AMAYA ITURRALDE
Procesos Técnicos

MTRD. IVÁN DAVID PICAZO ZAMARRIPA
Cuidado de la Edición

EDITORES ASOCIADOS

DR. FELIPE ALONSO RODRÍGUEZ ALMEIDA

DRA. MARÍA ELENA FUENTES MONTERO

DRA. LAURA CRISTINA PIÑÓN HOWLET

DR. JAVIER TARANGO ORTIZ

DRA. GUADALUPE VIRGINIA

NEVÁREZ MOORILLÓN

DR. FRANCISCO ALBERTO PÉREZ PIÑÓN

DR. IGNACIO CAMARGO GONZÁLEZ

DRA. MARGARITA LEVARIO CARRILLO

TECNOCENCIA Chihuahua

Consejo Editorial Internacional

DR. GUILLERMO FUENTES DÁVILA

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

DR. VÍCTOR ARTURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Colegio de Posgraduados, México

DR. JOHN G. MEXAL

New Mexico State University, Estados Unidos de América

DR. ULISES DE JESÚS GALLARDO PÉREZ

Instituto de Angiología y Cirugía Vascular, La Habana, Cuba

DR. HUMBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

Universidad Autónoma de Nuevo León, México

DRA. ELIZABETH CARVAJAL MILLÁN

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., México

DR. ALBERTO J. SÁNCHEZ MARTÍNEZ

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

DR. LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ

Instituto Politécnico Nacional, México

DR. LUIS FERNANDO PLENGE TELLECHEA

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

DR. HÉCTOR OSBALDO RUBIO ARIAS

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

DRA. ANGELA BEESLEY

University of Manchester, Reino Unido

DR. LUIS ALBERTO MONTERO CABRERA

Universidad de La Habana, Cuba

DR. RICARD GARCÍA VALLS

Universitat Rovira I Virgili, España

DR. LUIZ CLOVIS BELARMINO

Faculdade Atlantico Sul, Brasil

TECNOCENCIA-Chihuahua. Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades. Volumen XIII, Número 2. Mayo-Agosto 2019. Publicación cuatrimestral de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Editor en Jefe: Dr. César Humberto Rivera Figueroa. ISSN: 1870-6606. ISSN Difusión Vía Red de Cómputo: En trámite. Número de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2018-070312595700-203. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 11441. Clave de registro postal PP08-0010. Domicilio de la publicación: Edificio de la Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria s/n. Campus Universitario I. C.P. 31170, Chihuahua, Chihuahua, México. Oficina responsable de la circulación: Dirección de Investigación y posgrado, Ciudad Universitaria, Campus Universitario I. C.P. 31170. Imprenta: Carmona Impresores. Tiraje: 1,000 ejemplares. Precio por ejemplar en Chihuahua: \$60.00 Costo de la suscripción anual: México, \$200 (pesos); EUA y América Latina, \$35 (dólares); Europa y otros continentes, \$40 (dólares). La responsabilidad del contenido de los artículos firmados es de sus autores y colaboradores. Puede reproducirse total o parcialmente cada artículo citando la fuente y cuando no sea con fines de lucro.

Teléfono: (614) 439-1500 (extensión 2209), e-mail: tecnociencia.chihuahua@uach.mx Página web: <http://tecnociencia.uach.mx> Nuevo portal: vocero.uach.mx

Contenido

Definición de la revista I

Editorial II

El científico frente a la sociedad

¿Es pertinente estudiar en México un postgrado en ciencias naturales, aun cuando existen múltiples retos en la ciencia?

*Ignacio Rodrigo Islas-Flores,
Miguel Alonso Tzec-Simá*

69

Economía y Administración

Productividad Total de Factores en manufacturas mexicanas: caso frontera norte 1993-2013

Jimmy Félix-Armenta, Óscar A. Viramontes-Olivas, Ernesto Guerra-García, Sergio A. Galaviz-Acosta

74

Educación y Humanidades

Hacia una didáctica específica para la asignatura de Ergonomía en una universidad mexicana

Héctor Daniel Molina-Ruiz, Cruz García-Lirios, Javier Carreón-Guillén, Mónica García-Munguía, Arturo Sánchez-Sánchez

86

Ingeniería y Tecnología

Diseño, modelado y construcción de la dirección de un vehículo tipo SAE mediante análisis vectoriales y geométricos

Marco Aurelio Moya-Quevedo, Francisco Rosas-Pérez, Ignacio de Luna-Zamora, Raúl Armando Salas-Mortis, Ana Gabriela Franco-Díaz, Gildardo Rosas-Pérez

99

Salud y Deporte

Comparación de la eficiencia de transformación entre diferentes cepas de E. coli

María Georgina Gómez-Fierro, Samantha Yolotzin García-Cárdenas, Daniela Grissel Ruvalcaba-Hidrogo, Carmen Carolina Alvarado-González, Óscar Enrique Juárez-Acosta, Mayela Rosario Espinoza-Duarte, Gerardo Pável Espino-Solís

112

**Medio ambiente y
Desarrollo sustentable**

Listado florístico preliminar del humedal Río San Pedro-Meoqui a siete años de su designación Ramsar

Pedro Ibarra-Jaime, Bertha Alicia Rivas-Lucero, Gabriel Zúñiga-Ávila, Mélida Gutiérrez

121

Definición

TECNOCIENCIA Chihuahua es una publicación científica arbitrada de la Universidad Autónoma de Chihuahua, fundada en el año 2007 y editada de forma cuatrimestral. Está incluida en los siguientes índices y directorios:



- Catálogo de revistas científicas de México e Iberoamérica que cumplen con criterios internacionales de calidad editorial.



- La base de datos bibliográfica de la UNAM de revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.



- La base de datos bibliográfica de la UNAM de revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencias sociales y humanidades.

► Objetivo

Servir como un medio para la publicación de los resultados de la investigación, ya sea en forma de escritos científicos o bien como informes sobre productos generados y patentes, manuales sobre desarrollo tecnológico, descubrimientos y todo aquello que pueda ser de interés para la comunidad científica y la sociedad en general.

También pretende establecer una relación más estrecha con su entorno social, para atender a la demanda de los problemas que afectan a la sociedad, expresando su opinión y ofreciendo soluciones ante dicha problemática.

La revista **TECNOCIENCIA Chihuahua** se publica cuatrimestralmente para divulgar los resultados de la investigación en forma de avances científicos, desarrollo tecnológico e información sobre nuevos productos y patentes.

La publicación cubre las siguientes áreas temáticas:

Alimentos, Salud y deporte, Ingeniería y tecnología, Educación y humanidades, Economía y administración, Medio ambiente y Desarrollo sustentable, Creatividad y desarrollo tecnológico.

► Visión

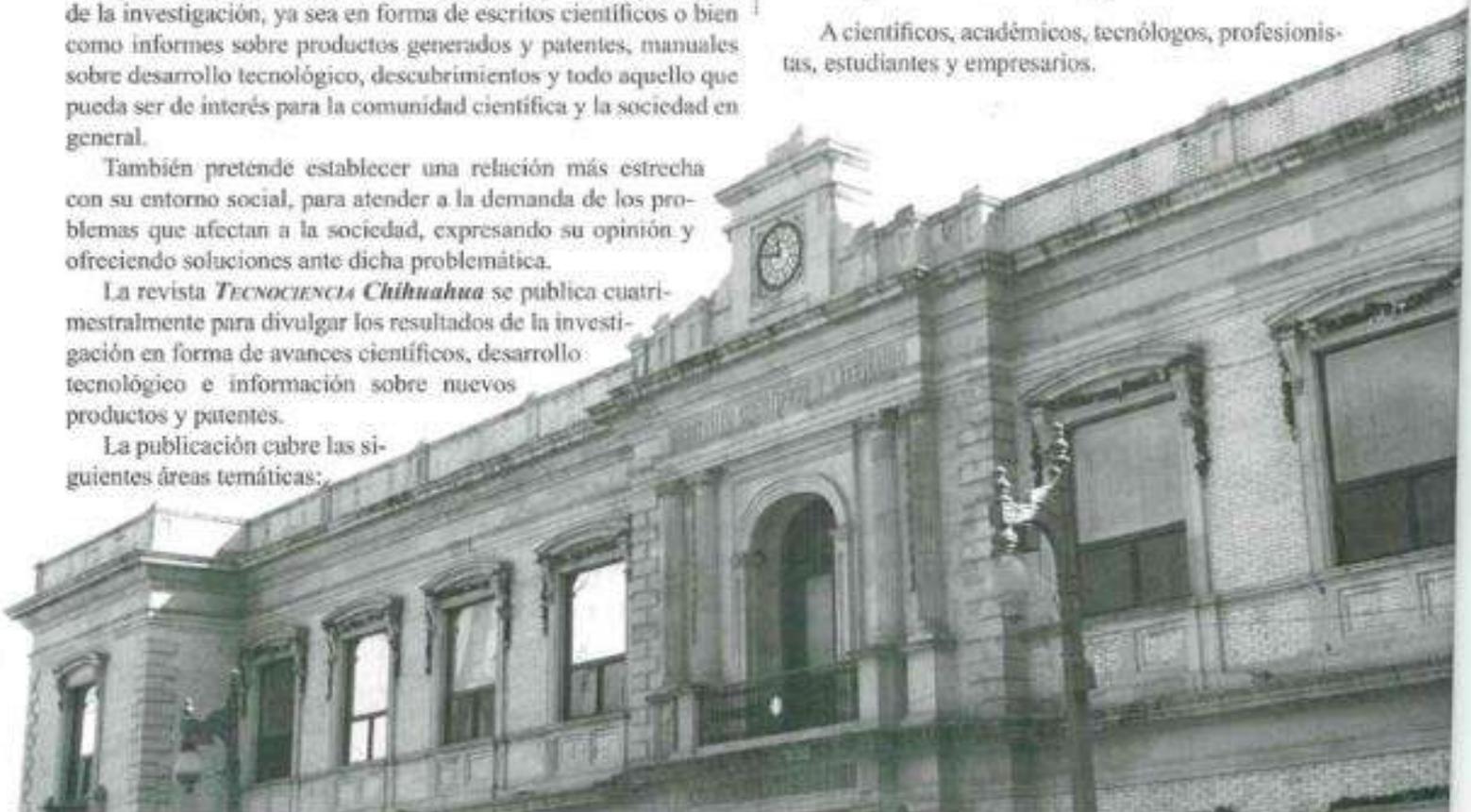
Mejorar de manera continua la calidad del arbitraje de los artículos publicados en la revista, proceso que se realiza en forma anónima bajo el sistema de doble ciego. Conformar el Consejo Editorial Internacional y cada Comité Editorial por área del conocimiento de la revista, incorporando como revisores a investigadores del país y del extranjero adscritos a instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación, que son reconocidos como académicos y científicos especializados en su campo.

► Tipos de artículos científicos

En la revista se publican las siguientes clases de escritos originales: artículos científicos en extenso, notas científicas, ensayos científicos y artículos de revisión.

► A quién se dirige

A científicos, académicos, tecnólogos, profesionistas, estudiantes y empresarios.



¿Es pertinente estudiar en México un postgrado en ciencias naturales, aun cuando existen múltiples retos en la ciencia?

Is it pertinent to study in Mexico a postgraduate degree in natural sciences, even though there are multiple challenges in science?

IGNACIO RODRIGO ISLAS-FLORES^{1,2} Y MIGUEL ALONSO TZEC SIMÁ¹

Resumen

En este escrito, se vierte una opinión acerca del porqué el gobierno de México, sin importar su filiación partidista, debe seguir apoyando a los estudiantes de postgrado en ciencias naturales. También se describen algunos de los retos y oportunidades que los postgraduados enfrentan durante su formación académica, así como la confianza de que la inversión en su educación no es un dinero de fondo perdido, sino una inversión en capital humano que facilitará la transición del país hacia la economía del conocimiento y nivel de país desarrollado, pero sobre todo a la formación de un país con personas más críticas y conscientes acerca de sus necesidades de desarrollo técnico e intelectual.

Palabras clave: México, postgraduados, postgrados, ciencias naturales, financiamiento, reto educativo, economía basada en el conocimiento.

Abstract

In this article, an opinion is expressed about why the Mexican government, regardless of its partisan affiliation, should continue to support postgraduate students in the natural sciences. It also describes some of the challenges and opportunities that postgraduates face during their academic education, as well as the confidence that the investment in their education is not a lost fund, but the investment in human capital that will facilitate the country's transition to the economy of knowledge, but above all, to the formation of a country with a broader and more conscious critical mass about its needs for technical and intellectual development.

Keywords: Mexico, postgraduates, natural sciences, financing, educative challenge, economy based on knowledge.

Introducción

Reconocemos que no hemos podido abstraernos de la vorágine de ideas, acciones y contradicciones que en estos días acompañan a quienes toman las riendas de las instituciones mexicanas donde se deciden las que serán las directrices económicas que determinarán las prioridades científicas de nuestro país, al menos durante el siguiente sexenio. Idealmente, esas políticas deberían ser transexenales y de mediano-largo plazo y, por lo tanto, planificadas y orientadas hacia objetivos bien definidos.

¹ UNIDAD DE BIOQUÍMICA Y BIOLOGÍA MOLECULAR DE PLANTAS; CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A.C.; CALLE 43 No. 130 x 32 y 34, COLONIA CHUBURNÁ DE HIDALGO, C.P. 97205, MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO. TELÉFONO: (999) 9 42 83 30 EXTENSIÓN 225.

² CORREO ELECTRÓNICO DEL AUTOR DE CORRESPONDENCIA: ISLASIGN@CICY.MX



Es claro que si las políticas científicas de México, sean de tipo social o natural, presentan fallas, entonces debe corregirse lo que así se requiera, pero también mantener lo que ha mostrado ser factible y enriquecedor. El Estado mexicano, como organismo rector de las políticas científicas, ha tenido errores, pero también aciertos. Quizás entre los mayores errores está el de establecer y seguir una política científica sexenal, deficiente en sus objetivos, pobre en su financiamiento en general, y escasa en la creación de nuevos puestos para absorber a recién postgraduados. Por el contrario, uno de los mayores aciertos del gobierno mexicano en la política científica ha sido el otorgamiento de un número importante de apoyos en forma de becas de manutención o de pago de colegiatura para los estudiantes mexicanos de postgrado, que en diferentes instituciones nacionales o del extranjero, hacen investigación en áreas por demás prioritarias para el país; tal es el caso de las ciencias naturales, e.g. Física, Química, Biotecnología, Ciencias de la salud, Ingeniería ambiental, Ecología, Energías renovables, entre otras (CONACYT, 2019).

En este sentido, vale la pena preguntarse si nuestros jóvenes han recibido la orientación vocacional necesaria para elegir, de entre las opciones de preparación académica, aquella donde podrán explotar de mejor manera sus talentos, satisfacer sus inquietudes intelectuales y por supuesto, cubrir sus necesidades económicas inmediatas. En este escrito se analiza la factibilidad y los retos de estudiar en México un postgrado en ciencias naturales, cuando los cambios políticos recientes parecen conducir a la ciencia mexicana hacia el estancamiento.

Retos y oportunidades de los postgrados y de los postgraduados mexicanos en ciencias naturales

El postgrado en cualquiera de las áreas de las ciencias naturales es una carrera larga y, por supuesto, demandante; es de suponer que lo mismo ocurre en los postgrados de las ciencias sociales. En caso de que el estudiante de postgrado sea recipiente de una de las becas de manutención otorgadas por cualquiera de las instancias del gobierno mexicano, el postgraduado se embarcará en actividades académicas y experimentales que implicarán periodos cuyo tiempo mínimo

será de cinco años, si se realiza un doctorado directo, dos años si se opta por una maestría, y de cuatro años si se ingresa al doctorado después de la maestría (CONACYT, 2019). Una vez enrolado en el programa de postgrado, es deseable que el estudiante disfrute las actividades académicas y experimentales que realiza, no hay peor error que involucrarse en actividades que generan insatisfacción y frustración. Cabe mencionar que dichas sensaciones son comunes en la actividad creativa de la ciencia. Ejemplos de cómo lidiar con esas situaciones pueden encontrarse en los escritos de Halford (2018) y de Jacob (2018), que, aunque no son casos de nuestro país, sí son situaciones que el estudiante de postgrado puede enfrentar con mayor frecuencia de lo que supone. Enfrentar el postgrado, por sí mismo, requiere tenacidad y perseverancia para no abandonar el objetivo a la mitad del camino.

La consecución del postgrado en ciencias naturales otorgará nuevas habilidades en la frontera del conocimiento al recién postgraduado, de quien también se espera que haya incrementado su capacidad de creación, conducción, análisis y resolución en los ámbitos de su especialidad, pero que además se haya capacitado en el uso de las metodologías de frontera de su área de estudio. La conclusión exitosa del postgrado conlleva la posibilidad de que el postgraduado obtenga mejores oportunidades de trabajo y, si lo desea, también la posibilidad de extender su vida laboral, la cual podría realizar en México o en el extranjero. Como postgraduado en ciencias naturales, dependiendo del tema de trabajo, se abrirá la posibilidad de realizar estancias en universidades o instituciones de investigación del más alto prestigio en el país o en el extranjero. Acorde con dichas posibilidades, el postgraduado podrá publicar sus resultados en revistas especializadas y, conforme su carrera de investigador o académica se consolide, vendrá el reconocimiento social por su obra (Orientación Universitaria, 2018; Posgrado y Educación Continua, 2019).

Una vez graduado de maestría o de doctorado, una de las realidades que en México enfrentan los egresados de tales niveles, y más aún los postdoctorantes, es el limitado número de vacantes que se ofertan, por lo tanto, un alto número de solicitantes pueden no obtener una posición en el corto plazo. Por dicha

razón, muchas veces ocurre lo que se conoce como fuga de cerebros, y lleva a los postgraduados (tanto los graduados en el país como en el extranjero), en el mejor de los casos, a migrar o permanecer en los países donde sí reciben la oportunidad de aplicar y mejorar lo aprendido. Para los graduados en México, si la emigración no ocurre y las oportunidades de empleo en el área de la especialización no se presentan, entonces el subempleo o la subcontratación en áreas muy diferentes a las estudiadas son la salida inmediata. La última alternativa es por demás desalentadora si se considera la cantidad de recursos, tanto económicos como de infraestructura, que se han invertido en la preparación técnica e intelectual de los postgraduados.

Uno de los aspectos que el gobierno de nuestro país debe tener en claro, sin importar si es de izquierda o de derecha, es que la preparación académica, las habilidades técnicas y la capacidad de análisis intelectual de sus ciudadanos es uno de los primeros factores que hacen que un país en desarrollo (como es nuestro caso) alcance y consolide los parámetros que se requieren para ser considerados como «país emergente» entre la élite de los países desarrollados, entre otros: índices de salud/enfermedad, porcentajes de población con escolaridad universitaria, postgrado/población con nivel de escolaridad menor a la universitaria, nivel de ingreso económico entre los diferentes estratos de la población del país y suficiencia del ingreso para cubrir las necesidades de alimentación, vestido y entretenimiento.

Inversión en los postgraduados como potencial de desarrollo del país

Invertir en la formación de recursos humanos a nivel de postgrado es una estrategia para que México asegure su desarrollo y su competitividad productiva y económica. Se requieren metas claras en los números que se requieren para cubrir las necesidades inmediatas en las áreas prioritarias del país, pero también en aquellas que se vislumbra serán requeridas en el mediano-largo plazo, tanto en el país como globalmente. Hanushek (2016) postuló que el conocimiento es el capital clave para el desarrollo y crecimiento económico de los países, y que por ello, el dinero invertido en tal actividad no es un gasto perdido. La inversión en la formación de recursos

humanos es el corazón del desarrollo social, cultural, económico y tecnológico que conjuntamente catapultarán la innovación y el crecimiento. En México, las ciudades que han invertido en la formación de sus habitantes, en la actualidad tienen polos de desarrollo que, aunque de manera limitada, empiezan a mostrar economías pujantes y desarrollo industrial que absorbe y demanda personal con mayor preparación académica a la educación obligatoria en el país. Esos son los casos de Querétaro, Guanajuato, y Puebla; el primero con una industria de manufactura aeroespacial incipiente que demanda personal altamente capacitado en las áreas de Físico-Matemáticas y nuevos materiales (Méndez, 2017). Por su parte, Guanajuato es un estado con una producción agrícola de alta tecnificación y producción destinada al comercio exterior y con innovadores provenientes de los centros de investigación establecidos en el estado, quienes han iniciado *startups* basados en el conocimiento científico (Miranda, 2019). Por último, está el estado de Puebla, que demanda ingenieros para la industria automotriz y en el campo de generación de energías limpias (Miranda-Franco, 2018). El apoyo gubernamental a dichas entidades debe mantenerse, pero, además, nuestro gobierno debe impulsar el que otros estados sigan ese camino de desarrollo intelectual y tecnificación. Una de las formas de lograrlo es proporcionando las facilidades para la incubación y desarrollo de industrias alternativas o complementarias a las ya existentes. Las facilidades no se refieren solamente a la infraestructura o a la inyección económica inmediata; elevar el nivel educativo y la preparación académica e intelectual a nivel universitario o postgrado de la población que vive en tales lugares facilitará el desarrollo industrial y, en consecuencia, incrementará la economía de dichas regiones. En el mediano plazo, esa será la estrategia que elevará a México al nivel de los países desarrollados y su permanencia en esa élite se sostendrá debido a la preparación académica de su población y de sus postgraduados.

Lo último no es una utopía, de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), en el último siglo, algunos de los países que han alcanzado un desarrollo notorio y que se han incrustado en la «esfera» del primer mundo, e.g. Corea del Sur y Japón, en 2016 estaban

postgraduando cerca de 16,000 y 13,000 doctores en ciencias, respectivamente (OCDE, 2016). Por supuesto, esos números distan por mucho de los registrados por los Estados Unidos de América y Alemania, quienes ocupan el primero y segundo lugar en postgraduados en ciencias, con 67,500 y 28,200 respectivamente (Gray, 2017). Definitivamente, los países desarrollados invierten en sus sistemas de educación superior y consideran a las universidades y a los centros de investigación como una parte medular de su desarrollo y de la preparación de sus educandos. Como resultado, cada vez un mayor número de gente está completando programas doctorales o maestrías en ciencias tales como Biotecnología, Bioingeniería, Bioinformática, Biomatemáticas, Tecnología e Ingenierías de la comunicación y Matemáticas (Gray, 2017). En México es tiempo de invertir de una forma más decidida a favor de la economía del conocimiento.

Según la OCDE, en las últimas dos décadas el número de postgraduados se ha incrementado en los países en desarrollo, incluyendo el nuestro. La India, por ejemplo, anualmente postgradúa a 24,300 doctores en ciencias, mientras que en México el número es de cerca de 6,000 (Conacyt, 2019). Casi el 40% de los nuevos doctores mexicanos se reciben en áreas relacionadas con la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, y cerca de un 18% lo hace en áreas afines a la salud. Se observa que en varios de los países agrupados en la OCDE, tal es el caso de Francia, Canadá, China y México, sus programas doctorales están orientados a las ciencias naturales y las ingenierías, y que por ello sus egresados son por mucho la mayoría. Es de resaltar que en dichos programas se está incrementando la digitalización, la inteligencia artificial y la internacionalización de la investigación, contribuyendo así a la globalización de la economía del conocimiento.

En la vorágine de la globalización del conocimiento y su innegable asociación con el desarrollo de nuestra sociedad, es necesario que el gobierno mexicano no deje de apoyar la educación superior de su población y que, por el contrario, la refuerce a la vez que consolida las bases de su sistema educativo básico y medio superior. Esta dinámica ejercerá la fuerza necesaria para que los programas universitarios y la educación de postgrado se establezca y

consolide en todo el país como una opción de superación académica y económica. Impulsar tal desarrollo es un desafío y una oportunidad que no debe ser desaprovechada por nuestros jóvenes graduados y por nuestro propio gobierno, quien contradictoriamente invierte en la postformación de un limitado número de graduados con miras en especializarlos en áreas prioritarias pero una vez postgraduados, se cuenta con muy pocos espacios para incorporarlos a sus sistemas públicos o privados de investigación o educación. No obstante tales inconvenientes, la preparación que adquieren los postgraduados es una herramienta invaluable que les permitirá abrirse paso en el mundo globalizado de las ciencias y también contribuir a la educación del resto de nuestros ciudadanos, quienes, entre más y mejor preparados estén, serán más críticos y tendrán más herramientas para ejercer su libertad social e intelectual.

Conclusiones

Estudiar un postgrado en México es una oportunidad que debe darse, ya sea financiada por el sistema de becas del gobierno mexicano o de manera particular, y que debe verse como un reto para el intelecto de los recipientes de tal merecimiento, pues ese núcleo debe ser la base que facilite el desarrollo de un mejor país, con mayor equidad social y una base económica más pujante a nivel globalizado. En sí, la educación de postgrado y sus educandos no deben ser considerados como un lujo al cual solo ingresa la clase «fifi», sino como una oportunidad de desarrollo del país. El político colombiano Diego Luis Córdova (1907-1964) sabiamente mencionó que «por la ignorancia se desciende a la servidumbre, por la educación se asciende a la libertad». Apliquemos tales principios en nuestro país.

Literatura Citada

- CONACYT. 2019. <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/becas-y-posgrados/becas-nacionales>. Accesado en febrero 22 de 2019.
- Gray, A. 2017. These countries have the most Doctoral graduates. <https://www.weforum.org/agenda/2017/02/countries-with-most-doctoral-graduates/>. Accesado el 24 de febrero de 2019.
- Halford, B. 2018. Deviating from the plan, when graduate school doesn't play as expected. *Chemical and Engineering News*. September 10, page 25.

- Jacob, M. 2018. How I made my grad school choices. *Chemical and Engineering News*. September 10, pages 20-21.
- Méndez, A. 2017. Querétaro, imán de la industria aeroespacial. <http://www.mexicoindustry.com/es/news/queretaro/queretaro-imn-de-la-industria-aeroespacial>. Accesado el 30 de abril de 2019.
- Miranda, A. 2019. Guanajuato impulsa a emprendedores de alto impacto. www.unionguajuato.mx/articulo/2019/03/21/emprender/guanajuato-impulsa-emprendedores-de-alto-impacto. Accesado el 30 de abril de 2019.
- Miranda-Franco, M. 2018. Querétaro y Puebla solucionarían movilidad aérea para industria automotriz, tras cancelación del NAICM. <https://metropolitanoags.blogspot.com/2018/10/queretaro-y-puebla-solucionarian.html>. Accesado el 30 de abril de 2019.
- Orientación Universia. 2018. Por qué estudiar un Doctorado. https://orientacion.universia.net.co/infodetail/orientacion/orientacion_vocacional/por-que-estudiar-un-doctorado-5128.html#. Accesado el 24 de Febrero de 2019.
- Orientación y Educación Continua. 2019. 10 razones para estudiar un Doctorado. <https://posgrado.anahuacmayab.mx/blog/10-razones-para-estudiar-un-doctorado>. Accesado el 24 de febrero de 2019.
- OCDE. 2016. OECD science, technology and innovation Outlook 2016, OECD publishing, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-en. Accesado el 30 de abril de 2019.
- OCDE. 2018. Education at glance 2018. <https://read.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2018/mexico-eag-2018-58-en#page1>. Accesado el 30 de abril de 2019. 

Este artículo es citado así:

- Islas-Flores, I. R. y M. A. Tzec Simá. 2019. ¿Es pertinente estudiar en México un postgrado en ciencias naturales, aun cuando existen múltiples retos en la ciencia? *TECNOCENCIA Chihuahua* 13(2):69-73.
DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v13i2.461>

Resumen curricular del autor y coautores

IGNACIO RODRIGO ISLAS FLORES. Terminó su licenciatura en 1989, año en el que le fue otorgado el título de Licenciado en Biología por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Realizó sus estudios de Maestría en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. en colaboración con el Instituto Tecnológico de Mérida, donde en 1994 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Biotecnología con especialidad en Biotecnología de Plantas. Realizó sus estudios de Doctorado en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., donde en 1998 obtuvo el grado de Doctor en Ciencias en Biotecnología Vegetal. Realizó un postdoctorado de 1999 a 2001 en el departamento de plantas del Instituto de Biotecnología de la UNAM. Durante 2015 realizó una estancia sabática en el departamento de Química en la Universidad de Ottawa, Canadá. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), nivel I desde 2001 a la fecha. Ha publicado 40 artículos de investigación original y 5 capítulos en revistas o libros indexados y de circulación internacional, 11 artículos de divulgación en revistas de circulación nacional. Ha dirigido 16 tesis de Licenciatura, 10 de Maestría y 5 de Doctorado, ha dirigido 6 proyectos de investigación con financiamiento CONACYT o de Fundación Produce Yucatán. Es evaluador de proyectos CONACYT, Ciencia Básica y evaluador de artículos de investigación por invitación.

MIGUEL ALONSO TZEC SIMÁ. Terminó su licenciatura en 1996, año en el que le fue otorgado el título de Químico Farmacéutico Biólogo por la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Yucatán. Realizó sus estudios de Maestría en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Biotecnología de Plantas en 2001. Desde 1997 labora en el Centro de Investigación Científica de Yucatán como técnico académico. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores en el nivel de candidato (2015-2018). Ha sido codirector de 17 tesis de Licenciatura, 21 artículos de investigación en revistas indexadas de circulación internacional y 2 capítulos en libros de circulación nacional. Es revisor de artículos por invitación.

Productividad Total de Factores en manufacturas mexicanas: caso frontera norte 1993–2013

Total Productivity of Factors in Mexican manufactures: border north case 1993–2013

JIMMY FÉLIX ARMENTA¹, OSCAR A. VIRAMONTES-OLIVAS^{2,4}, ERNESTO GUERRA GARCÍA³
Y SERGIO A. GALAVIZ ACOSTA³

Recibido: Febrero 15, 2019

Aceptado: Julio 8, 2019

Resumen

La entrada en vigor en enero de 1994 del Tratado de Libre Comercio (TLCAN) con Estados Unidos de Norteamérica y Canadá por parte de México favoreció al empleo y a la economía mexicana. Las manufacturas mexicanas mostraron una descentralización de las actividades, resultando favorecidas las entidades fronterizas del norte del país al convertirse en la región que más contribuye al empleo y la producción de la economía mexicana. El presente ensayo analiza la evolución de la frontera norte de México a partir de la Productividad Total de Factores (PTF) bajo la metodología de estimaciones del residuo de Solow.

Los resultados indican que el cambio regional no ha promovido un crecimiento económico adecuado para la economía mexicana, ya que la frontera norte, a pesar de presentar el mayor incremento en el producto y en la fuerza laboral, no ha sido capaz de traducirlo en un mejor dinamismo en términos de productividad, lo cual implica una reducción en la contribución de las manufacturas en el crecimiento económico del país.

Palabras clave: Productividad Total de Factores, región frontera norte, manufacturas y crecimiento económico

Abstract

The entry into force in January 1994 of the Free Trade Agreement (NAFTA) with the United States of America and Canada by Mexico, favored employment and the Mexican economy, as well it's noticeable, from the commercial opening and the economic integration with the United States and Canada, through the implementation of the NAFTA, the Mexican manufactures show a decentralization in activities, the northern entities have been favored to become the region, which contributes the most to the employment and production of the Mexican economy. T

his paper analyzes the evolution of Mexico's northern border based on Total Factor Productivity (TFP), using the Solow residue estimation methodology. The results indicate that the regional change has not promoted an appropriate economic growth for the Mexican economy, since the northern border despite having the highest growth in output and in the labor force has not been able to translate it into a better dynamism in terms of productivity, which implies a reduction in the contribution of manufactures in the economic development of the country. The northern entities have been favored.

Keywords: Total Factor Productivity, northern border region, manufactures and economic growth.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA INTERCULTURAL DE SINALOA. PUENTE DE CRISTAL 2334. FRACCIONAMIENTO FUENTES DEL BOSQUE C.P. 81229.

² UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN. CIRCUITO UNIVERSITARIO, CAMPUS No. 2, C.P. 31125.

³ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA INTERCULTURAL DE SINALOA. PUENTE DE CRISTAL 2334. FRACCIONAMIENTO FUENTES DEL BOSQUE C.P. 81229.

⁴ DIRECCIÓN ELECTRÓNICA DEL AUTOR DE CORRESPONDENCIA: VIOLIOSCAR@GMAIL.COM



Introducción

El entendimiento del porqué los países difieren enormemente en los niveles de bienestar, implica apreciar las grandes divergencias presentadas en sus tasas de crecimiento económico a largo plazo. Esto es importante debido a que pequeñas diferencias en dichas tasas, al acumularse en un amplio periodo, tienen mayores consecuencias para el nivel de vida de la población que fluctuaciones mostradas en un corto plazo (Barro y Sala-i-Martin, 2004).

Resulta claro que el crecimiento económico constituye uno de los principales objetivos de las economías; en nuestro país es importante incrementar los niveles de productividad que permitan impulsar tal crecimiento. Su relevancia se puede apreciar en el sector industrial mexicano, particularmente en las manufacturas, puesto que su dinámica ha presentado cambios notorios durante las últimas cinco décadas.

En esta dirección, en los años sesenta en el siglo pasado el producto de las manufacturas mexicanas creció a una tasa de 9.17% como promedio anual. Para los años setenta, el crecimiento fue de 6.71%, en tanto que, para el periodo de 1980-1993 se registró un aumento moderado de 1.36%; en el periodo de 1993-2004 declinó aún más al crecer 1.05% anual. Estos datos indican una desaceleración del crecimiento en la producción. Es notorio que el producto de las manufacturas mexicanas en 1980 fue 4.6 veces más grande que en 1960; en cambio, el producto en 2004 fue 1.3 veces mayor que en 1980. Lo anterior implica una reducción en la aportación de las manufacturas del crecimiento y desarrollo económico de México. En este contexto, el objetivo del presente ensayo fue analizar el desempeño de las manufacturas de la frontera norte a partir de la Productividad Total de los Factores (PTF) en México en el periodo 1993-2013. Un segundo objetivo fue determinar si han impulsado el crecimiento de la economía mexicana.

El trabajo está dividido en tres apartados. En el primero, se realiza la revisión bibliográfica respecto a los resultados obtenidos al aplicar la PTF en distintos países y en el caso de la economía mexicana. En la segunda parte, se presenta el análisis de las fuentes de crecimiento y de la PTF en las manufacturas de los estados en la frontera norte de México y, finalmente, las conclusiones.

Desarrollo del tema

Thirlwall (2003) fundamentó la existencia de evidencia empírica que sugiere una asociación entre el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) y el incremento de la industria manufacturera. Los países que crecen en forma rápida tienden a ser aquellos en que la participación de la industria en el PIB aumenta más rápidamente. De acuerdo con este enfoque, los datos censales elaborados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014) muestran que las manufacturas contribuyeron con 48.2% de la producción bruta total, 33.9% de las remuneraciones totales y 29% del valor agregado de la economía mexicana.

En las últimas décadas, particularmente a mediados de los 80s en el siglo pasado, la economía mexicana presenta cambios estructurales, tanto en el patrón de localización industrial como en el dinamismo de crecimiento regional. Como consecuencia, los estados mexicanos que se encuentran en la frontera con los Estados Unidos de América fueron los más beneficiados, convirtiéndose en el nuevo centro de crecimiento (Krugman y Livas, 1992; Hernández Laos 1993; Ocegueda, 2003; De León, 2008; Díaz Bautista, 2017; Carbajal *et al.*, 2018).

Sánchez y Campos (2010) señalan que la frontera norte de México, integrada por los estados de Baja California, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas se ha convertido en una de las regiones principales del país, ya que han fortalecido sus actividades industriales en gran medida por su cercanía con el mercado con los Estados Unidos de América. Lo anterior es respaldado por el comportamiento de las manufacturas de la región, ya que aportan aproximadamente 36% del personal ocupado, así como 35% del valor agregado censal bruto (INEGI, 2014).

Productividad Total de Factores (PTF). En la literatura económica existe consenso de la importancia de la acumulación del capital físico y humano para explicar el crecimiento económico. En este sentido, aparece la PTF como una herramienta que permite describir, en gran medida, el desempeño económico de un país. Easterly y Levine (2001) documentaron que 60% de la diferencia entre naciones en relación con sus tasas de crecimiento del PIB per cápita, pueden ser explicadas mediante las diferencias en sus tasas en el incremento de la productividad.

Meloni (1999) llevó a cabo un estudio para la economía argentina en el periodo 1980-1997 mediante estimaciones econométricas e incorporando un filtro de PTF y de los insumos de acuerdo con el método sugerido de Hodrick y Prescott. Con esta metodología, sus resultados señalaron un crecimiento de la PTF de 3.95% para todo el periodo. Lo anterior fue respaldado por el trabajo elaborado por Maia y Nicholson (2001) quienes realizaron un análisis de la PTF con una función tipo Cobb-Douglas para la economía argentina en el periodo 1989-1998. Estos estudiosos obtuvieron como uno de los principales resultados un crecimiento de la PTF de 3.5%. Ambos trabajos coinciden que en la década de los noventa en el siglo pasado significó un repunte de la Argentina a partir de un crecimiento intensivo de la PTF.

Con el propósito de evaluar la significancia estadística del conjunto de variables que conforman la PTF, Castro *et al.* (2006) realizaron un estudio para la economía colombiana en el periodo 1970-2002, mediante una función de producción utilizando técnicas econométricas para la estimación de las elasticidades. En su trabajo, mostraron cómo la PTF presentó una clara desaceleración, al registrar un crecimiento de 0.16% para todo el periodo. En su análisis señalaron que el pobre desempeño de la economía colombiana está explicado por el desborde del gasto público y por la violencia como probables causas de la desaceleración. López-Pueyo *et al.* (2008) documentaron estadísticamente un estudio de la PTF en el sector manufacturero para seis países durante el periodo 1979-2001. Estos autores evidencian que Finlandia presentaba los mejores resultados al tener un aumento en la PTF de 7.20%, en tanto que Francia obtenía 3.26%. Por su parte, Italia registró un incremento de 3.19%, Canadá 2.45%, Estados Unidos 2.37% y España con el desempeño más bajo, al tener un crecimiento de 2.26% para todo el periodo.

En el caso particular de la economía cubana, la investigación desarrollada por Doimeadiós (2010) analizó su desempeño para el periodo de 1975-2004. Este estudio planteó la utilización de una regresión de la PTF con la incorporación del capital humano y la inclusión de variables de comercio exterior como las exportaciones y el financiamiento externo. Los resultados señalan decrecimientos en la PTF, sobresaliendo el periodo 1990-1993 con PTF de -9.87%; este estudio señala el retroceso en el crecimiento de los factores de capital y trabajo a través del tiempo. En otro estudio, Domínguez *et al.* (2014) desarrollaron un análisis en PTF para la economía uruguaya en el periodo de 1991-2012 mediante hechos estilizados del crecimiento. Su análisis lo dividieron en tres subperiodos: 1991-1999, 2000-2007 y 2008-2013. Ellos concluyeron que para los primeros dos periodos la tasa de crecimiento de la PTF era prácticamente nula, sin embargo, para el último subperiodo se registraba un aumento de 1.0% anual.

Al implementar la metodología del índice de Malmquist con la finalidad de obtener la eficiencia técnica y el cambio tecnológico, Cándia *et al.* (2016) aplicaron un estudio de la PTF en la economía chilena a través del sector manufacturero en el periodo 1998-2010. Los resultados mostraron que de 1986 a 1997 la tasa de crecimiento de la PTF fue de 3.1%, en tanto que en el periodo 1998-2007 se presentaba una desaceleración, al pasar a un incremento de 0.6% anual. Tello (2017) realizó un estudio de la PTF en la economía peruana en 24 departamentos en el periodo 1980-2015. Los resultados patentizaron que la PTF no ha contribuido de manera significativa respecto al crecimiento del PIB, ya que la productividad total de los factores solo creció 0.4% en el periodo 1990-2015. En tanto, en el lapso de 1980-2015, la PTF se comportó de forma decreciente para todos los departamentos y para la economía peruana, en general.

Lo anterior refleja el limitado desempeño de la mayoría de los países latinoamericanos, presentando estancamiento en las tasas de crecimiento de la PTF; incluso se observan valores negativos, especialmente en los años ochenta en el siglo pasado. Esto fue respaldado por Barro (1999), al señalar que dicho desenvolvimiento es en gran medida por un retroceso técnico importante, así como por bajos niveles de inversión en desarrollo tecnológico. Loayza *et al.* (2002) hipotetizaron que el pobre desempeño

económico de los países latinoamericanos se debía a la pérdida de eficiencia de los sectores público y privado, así como a las reformas mal llevadas por los respectivos gobiernos.

Productividad total de los factores en México. Un estudio empírico realizado por Brown y Domínguez (2004) sobre el análisis de la PTF en la industria manufacturera mexicana para el periodo 1984-2000, a través del índice de Malmquist, mostró un crecimiento de 1.32% para el periodo de 1984-1993. Estos estudios argumentaron que dicho incremento estaba sustentado en el progreso técnico y no en las mejoras en la eficiencia. Además, en el periodo 1994-2000 la PTF registró un crecimiento de 1.96%, resultado que es explicado por el crecimiento acelerado de las exportaciones. Bernal y Salgado (2007) enfocaron en la contabilidad del crecimiento, a partir de estimaciones de datos de panel de la PTF. Estos autores combinaron para su análisis los insumos de capital, trabajo, electricidad y transporte para el periodo 1996-2003. Ellos señalaron que la PTF era capaz de explicar entre 58 y 69% de la producción a nivel agregado y observaron que la PTF tuvo un crecimiento de 2.1% anual para todo el periodo.

En otro estudio, De León (2008) realizó un examen de la PTF de manera regional de 1970-2004, dividieron su análisis en cinco subperiodos: 1970-1985, 1985-1993, 1993-2004, 1970-2004 y 2008-2013. Este estudio en particular se enfocó en las regiones frontera norte y en las grandes ciudades. El análisis mostró que para todo el periodo la tasa de crecimiento de la PTF a nivel nacional fue de 0.08%.

Se puede observar que para cada uno de estos periodos se tiene un estancamiento en los niveles de crecimiento de la productividad, incluso, es notorio observar resultados negativos, excepto de 1985-1993, donde el incremento de la PFT fue de 6.72%. Es posible insinuar que dicho aumento está vinculado a la puesta en marcha del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). En términos de análisis de las regiones, el mismo autor planteó que la baja capacidad de incorporación del progreso técnico en la región frontera norte propició bajos niveles de crecimiento en la productividad, muy a pesar del importante aumento en el empleo observado en la zona.

En el trabajo realizado por Fernández *et al.* (2013) desarrollaron un estudio de la PTF para la economía mexicana en el periodo 2003-2010 mediante estimaciones econométricas, así como incorporando el consumo intermedio como factor de producción. Dentro de sus resultados, mencionan que la PTF ha presentado una desaceleración al tener una tasa de crecimiento de 2.89% en 2003, pasando a un crecimiento de 2.65% en el 2010. Atayde (2016) analizó una descomposición en la PTF para los estados de México en el periodo 1998-2013. Este autor utilizó un modelo empírico que estima una función de producción agregada, usando efectos fijos para datos de panel. Dentro de los resultados obtenidos, señaló que el crecimiento promedio de la PTF fue entre el 1.5% y 2.5% en cada periodo. Un estudio reciente desarrollado por Diaz-Bautista (2017) presentó un modelo y un análisis empírico de la PTF para la economía mexicana a nivel regional y nacional para el periodo 1985-1998. Los resultados mostraron una tasa de crecimiento de 2.33% anual, teniendo como principales fundamentos el crecimiento del trabajo en los estados de la frontera norte del país.

Análisis de las fuentes de crecimiento. Diversos estudios empíricos han dejado claro la importancia que tiene la generación de empleos y sus implicaciones en el crecimiento económico. Por ello, para cada uno de los países, sin importar su nivel de desarrollo, la creación de más empleos es fundamental; de esta manera se diversificarán las actividades productivas y se acumulará el conocimiento como base para mejorar la prosperidad. En este sentido, en el Cuadro 1 se muestran los niveles de empleo y se observa un aumento significativo en la región frontera norte de México, ya que su contribución en las manufacturas mexicanas pasó de 29.84% en el año 1993 a 36.05% en 2013. Un aspecto importante a puntualizar es que todas las entidades que conforman la región frontera norte de México presentan incrementos continuos en su contribución al empleo, siendo las entidades de Nuevo León (7.67%), Chihuahua (7.53%) y Baja California (7.20%) las que más aportan al empleo. Cabe señalar que el estado de Baja California muestra un aumento sostenido y al alza 4.40% al 7.20%, a diferencia de otros estados que reflejan variaciones aún y con su alto crecimiento.

Cuadro 1. Participación en el nivel de empleo en la región frontera norte: 1993-2013 en términos de niveles de empleo.

Estado	1993	1998	2003	2008	2013
Baja California	4.40	5.91	6.36	6.78	7.20
Coahuila	3.98	4.53	4.89	3.92	4.97
Chihuahua	6.98	8.41	8.79	7.86	7.53
Nuevo León	7.67	7.69	7.67	7.12	7.67
Sonora	2.67	3.24	2.98	3.52	3.56
Tamaulipas	4.14	4.50	5.24	5.30	5.11
Región norte	29.84	34.28	35.91	34.51	36.05

Fuente: Cálculos propios a partir de censos económicos de INEGI: 1994, 2004, 2009 y 2014.

Producción de la región frontera norte en México. Uno de los aspectos más estudiados es el aumento en la producción y, por consiguiente, el crecimiento económico. Esto es relevante debido a que los efectos que trae consigo son esenciales en la consecución del bienestar de una nación. Para ello, se requiere la utilización eficiente de cada uno de los recursos productivos, es decir, el adecuado desempeño de los recursos humanos, del capital y la tecnología. El Cuadro 2 presenta la contribución en términos porcentuales de la región frontera norte respecto al valor agregado en las manufacturas mexicanas. Se han obtenido avances notables en la manera de participar en términos regionales, al pasar de 23.76% en el año de 1993 a 35.58% en 2013. En este indicador, el estado de Nuevo León registra una mayor aportación a la producción manufacturera del país, al contribuir con

un poco más del 10% del valor agregado bruto en México. Lo anterior refleja la importancia que tiene dicha entidad en la producción mexicana.

A partir de la liberalización comercial mediante la entrada en vigor del TLCAN, se observó la reubicación de las actividades manufactureras hacia los estados de la frontera norte. Lo anterior fue sustentado por Livas y Krugman (1992), quienes señalaron que el movimiento de las empresas del centro al norte del país fue producto de la interacción de economías de escala, de la reducción de costos de transporte y de las economías de aglomeración que motivan aún más la atracción de las manufacturas hacia la región fronteriza.

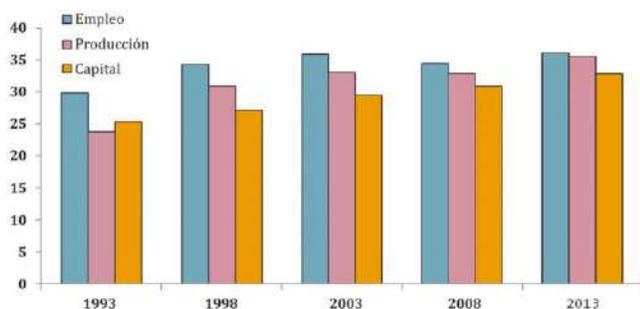
La Figura 1 muestra la evolución de las aportaciones de esta región respecto al empleo, producción y capital registrado a nivel nacional.

Cuadro 2. Participación en el nivel de producción en la región frontera norte: 1993-2013 en términos porcentuales.

Estado	1993	1998	2003	2008	2013
Baja California	2.40	4.02	4.12	4.11	3.86
Coahuila	3.90	5.95	5.26	6.40	8.11
Chihuahua	3.33	4.82	7.50	5.01	4.25
Nuevo León	8.78	9.49	9.77	9.80	10.35
Sonora	3.37	3.33	2.51	3.60	5.06
Tamaulipas	2.99	3.21	3.95	3.94	3.96
Región norte	23.76	30.84	33.11	32.86	35.58

Fuente: Cálculos propios a partir de censos económicos de INEGI: 1994, 2004, 2009 y 2014.

Figura 1. Participación porcentual en empleo, producción y capital en la región frontera norte respecto al total nacional en el periodo 1993-2013.



Fuente: Cálculos propios a partir de censos económicos de INEGI: 1994, 2004, 2009 y 2014.

La tendencia de los datos respalda la idea planteada por Díaz Bautista (2017) en relación con el traslado en términos de localización industrial hacia las entidades colindantes con Estados Unidos de América con la finalidad de que las empresas produzcan para ambos países y, de esa manera, aprovechar las economías de escala. El análisis estadístico descriptivo de los niveles de empleo y de producción muestran la gran relevancia que tiene la región frontera norte y plantea importantes cambios estructurales en las manufacturas mexicanas, siendo uno de los más notables la reestructuración geográfica de sus actividades. Es decir, se puede señalar que, basados en el periodo de estudio en nuestro país, se presenta una relocalización de las empresas manufactureras con la incorporación de nuevas zonas industriales, principalmente en esta zona geográfica.

Productividad laboral en la región frontera norte en México. La productividad es una de las piezas centrales para explicar el crecimiento económico y su incremento en el largo plazo, estableciendo la posibilidad de generar desarrollo económico y social en las regiones. De acuerdo con Felsing (2002), la productividad laboral es la relación entre la producción y el personal ocupado y refleja el grado de eficiencia de la fuerza laboral utilizada en el proceso productivo. Dicho de otra manera, la productividad laboral está indicando la capacidad de transformación de los insumos por parte de los trabajadores. En este sentido, la productividad para Hernández (1993) es entendida como la relación entre recursos utilizados y productos obtenidos.

En términos generales, se puede decir que existen dos maneras de calcular la productividad; la primera se refiere a las mediciones parciales que relacionan a la producción con un factor (capital o trabajo); la segunda, son las estimaciones multifactoriales que relacionan a la producción con un índice ponderado de los factores utilizados en el proceso productivo. El estudio de la productividad de manera dinámica, permite observar los cambios en la producción, derivados de la adecuación de desarrollos tecnológicos y el uso más intensivo de la fuerza laboral. Por lo antes mencionado, para complementar el estudio estadístico descriptivo, a continuación, se presenta un análisis de productividad laboral, en una perspectiva regional de las manufacturas mexicanas.

En el Cuadro 3 se muestra la dinámica en 20 años del producto por trabajador en las manufacturas de la región frontera norte, respecto al total nacional para el periodo 1993-2013. Al analizar los datos se puede distinguir que en cada año de estudio el producto por trabajador en las manufacturas se encuentra en continuo crecimiento. Sin embargo, a pesar de dichos aumentos, el rendimiento de la región es inferior al nacional, es decir, el promedio de productividad laboral de la frontera se encuentra por debajo del promedio nacional.

Los resultados expresados anteriormente corroboran un crecimiento económico de manera continua, medido a partir del aumento registrado en el producto por trabajador por parte de las entidades fronterizas en relación con el total nacional. Lo anterior es respaldado por la Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2016), al señalar que dentro de las transformaciones profundas de la economía mexicana, las entidades del norte del país se han beneficiado a partir de la apertura comercial, como resultado han obtenido un saldo favorable en temas de desempeño exportador, con una participación importante de manufacturas media y de alta tecnología.

Los resultados son parciales a nivel frontera norte, ya que los estados de Coahuila, Sonora y Nuevo León son los que presentan niveles de productividad por encima del promedio nacional. En forma adicional, se puede establecer que entidades como Tamaulipas, Chihuahua y Baja California se encuentran por debajo de la media nacional.

Cuadro 3. Productividad laboral de la región frontera norte respecto al total nacional 1993-2013 (en porcentaje).

Estado	1993	1998	2003	2008	2013
Baja California	0.54	0.68	0.65	0.61	0.54
Coahuila	0.98	1.31	1.08	1.63	1.63
Chihuahua	0.48	0.57	0.85	0.64	0.56
Nuevo León	1.14	1.23	1.27	1.38	1.35
Sonora	0.89	1.03	0.84	1.02	1.42
Tamaulipas	0.72	0.71	0.75	0.74	0.77
Región norte	0.80	0.90	0.92	0.95	0.99

Fuente: Cálculos propios a partir de censos económicos de INEGI: 1994, 2004, 2009 y 2014.

En este sentido, lo que resulta del anterior análisis, tanto de la participación regional en el empleo y valor agregado, como en la productividad por trabajador de las manufacturas, se expresa en el Cuadro 3.

Por un lado, se tiene que la redistribución de las actividades industriales hacia la región es eficiente en términos económicos estáticos, fundamentalmente al reducir los costos de transporte y teniendo economías de escala; de tal manera que presenta los niveles de crecimiento más altos en el empleo y el producto. No obstante, utilizando la herramienta de productividad laboral, se revalidan resultados limitados en esta variable para el periodo 1993-2013. En concordancia con lo anterior, De León (2006) afirmó que la relocalización de las actividades económicas ha propiciado menores tasas de crecimiento en los niveles de productividad nacional. Esto se explica porque la región frontera norte, a pesar de ser la que presenta el mayor crecimiento en el empleo y en la producción de las manufacturas, no es la que registra un mayor dinamismo en términos de productividad.

En consecuencia, se puede inferir que el cambio regional no ha promovido un crecimiento económico apropiado para nuestro país, ya que la región con mayor crecimiento en el empleo y en el producto presenta baja productividad, causando menores niveles de producto por trabajador para la economía nacional, lo cual implica una reducción en la aportación de las manufacturas en el desarrollo económico del país.

Productividad total de los factores (PTF). Con la finalidad de complementar el estudio descriptivo de productividad laboral, a continuación, se presenta un análisis de la productividad total de los factores (PTF). Se pretende comprobar la existencia -o no- de cambios en la actividad productiva de la región frontera norte, con la intención de describir la dinámica de las fuentes del crecimiento de las manufacturas durante el periodo 1993-2013. De acuerdo con Hernández (1993), el primero en mencionar el concepto de productividad total de los factores fue J. Tinbergen en los años cuarenta, en el siglo pasado, definiéndolo como la relación entre el producto real y la utilización de factores o insumos. A partir de entonces se han realizado una gran cantidad de estudios respecto al tema, en los cuales, cada autor maneja su propia manera de definir a la PTF, aunque en lo fundamental existe un acuerdo.

Por su parte, De León (2007) lo describió a partir del censo de manufacturas y señaló que la PTF representa el cambio en la productividad como un residual del crecimiento del producto descontado; en otras palabras, el cambio en el uso de los factores ponderados por su participación en el valor agregado de cada uno de los factores. En tanto, para Díaz-Bautista (2003), en un estudio de la PTF para toda la economía en su conjunto, la define como la diferencia entre la tasa de crecimiento del índice del producto y la tasa de crecimiento del índice de los factores; dichos índices, en el largo plazo, muestran los cambios estructurales ocurridos en el periodo.

Para el caso particular del presente ensayo, la metodología propuesta para medir la PTF fue tomando como punto de partida la adaptación realizada por De León (2007). Esta metodología parte del supuesto que el producto manufacturero de cada entidad es una función de capital, trabajo y tiempo, que son combinados mediante una función de producción regional con rendimientos constantes a escala a nivel entidad. Todo esto implica que las elasticidades del producto en relación con el capital y el trabajo sean iguales a la participación de los rendimientos de los factores en el costo total, dando como resultado que las participaciones del capital y del trabajo sumen la unidad respecto al costo total. Por lo anterior, se puede señalar que la medición de la PTF implica una descomposición de la tasa de crecimiento del producto, entre la suma de las tasas de crecimiento del capital y trabajo utilizadas en su elaboración. Bajo este análisis, cada factor es ponderado de acuerdo con su participación en el valor agregado total y su productividad factorial. El índice de PTF es calculado con la ecuación:

$$gPFT = \hat{A} = gQ - (\alpha gK + (1 - \alpha) gL) \quad (1)$$

donde:

- gPFT es la tasa de crecimiento de la productividad total de los factores
- gQ es el crecimiento del producto
- gK es el crecimiento del capital
- gL es el crecimiento del empleo
- α es la participación del capital en el producto

El índice de PTF expresa una correlación entre productos e insumos, lo cual es consistente con la definición tradicional de productividad. Es decir, relaciona el índice de crecimiento del producto, el valor agregado censal bruto con un índice de crecimiento de los factores capital y trabajo, ponderados de acuerdo con su participación en el valor del producto respecto al año base. Por lo tanto, el índice de PTF es equivalente a un promedio ponderado de los índices de productividad parcial del capital y de la mano de obra.

Para el presente ensayo se realizaron estimaciones de la PTF por entidades de la región frontera norte, integradas por Baja California, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas, para el periodo 1993-2013 y así, para los subperiodos 1993-1998, 1998-2003, 2003-2008 y 2008-2013. Se espera que dichos cálculos permitan observar la dinámica de crecimiento de cada uno de los factores, así como del producto para cada una de las entidades. Es importante señalar que la información fue obtenida a partir de los censos manufactureros de los años 1994, 1999, 2004, 2009 y 2014. Las variables utilizadas para el cálculo de la PTF fueron el Valor Agregado Censal Bruto (VACB), el personal ocupado a fin de año, los sueldos y el total de activos fijos netos. Los valores de VACB, sueldos y activos fijos netos, se deflataron a partir del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) con base 2013, debido a que no se dispone de un índice de precios por entidad o por región. En el Cuadro 4 se presentan los coeficientes de participación del capital y del trabajo para la región, dichos indicadores están ponderando la contribución de los dos factores en la producción. El coeficiente de participación del trabajo se obtiene mediante la ecuación 2:

$$COEFICIENTE = \frac{\left[\left(\frac{Sueldo_{final}}{Producto_{final}} \right) + \left(\frac{Sueldo_{inicial}}{Producto_{inicial}} \right) \right]}{2} \quad (2)$$

Se realizaron estimaciones para cuatro periodos: 1993-1998, 1998-2003, 2003-2008, 2008-2013 y para todo el periodo en su conjunto, 1993-2013. Una vez realizado el cálculo de los coeficientes del capital y del trabajo para la región frontera norte, tal y como se ilustra en el Cuadro 4, el promedio para el primer factor se encuentra entre los valores 0.5671 y 0.6841, en tanto que para el segundo oscila entre 0.3159 y 0.4329, esto a nivel regional. Dichas cifras pueden plantear que la contribución del capital es relativamente alta, sin embargo, estos resultados coinciden con los obtenidos por Barro y Sala-i-Martin (1995) quienes reportaron similares coeficientes para ambos factores.

Cuadro 4. Coeficientes de participación de capital y trabajo de la región frontera norte: 1993-1998, 1998-2003, 2003-2008, 2008-2013 y 1993-2013.

Estado	1993-1998		1998-2003		2003-2008		2008-2013		1993-2013	
	Capital	Trabajo								
Baja California	0.5535	0.4465	0.5124	0.4876	0.4994	0.5006	0.5126	0.4874	0.5706	0.4294
Coahuila	0.6645	0.3355	0.7210	0.2790	0.7618	0.2382	0.8125	0.1875	0.6966	0.3034
Chihuahua	0.3935	0.6065	0.5113	0.4887	0.5682	0.4318	0.5051	0.4949	0.4077	0.5923
Nuevo León	0.6268	0.3732	0.6724	0.3276	0.7211	0.2789	0.7506	0.2494	0.6624	0.3376
Sonora	0.6702	0.3298	0.6726	0.3274	0.6974	0.3026	0.7760	0.2240	0.7216	0.2784
Tamaulipas	0.4831	0.6169	0.5086	0.4914	0.5579	0.4421	0.5780	0.4220	0.5293	0.4707
Región norte	0.5671	0.4329	0.6119	0.3881	0.6529	0.3471	0.6841	0.3159	0.6045	0.3955

Fuente: Cálculos propios a partir de censos económicos de INEGI: 1994, 2004, 2009 y 2014.

Cuadro 5. Fuentes de crecimiento de la región frontera norte (1993-2013) en términos porcentuales.

Variable	1993-1998	1998-2003	2003-2008	2008-2013	1993-2013
Trabajo	6.7250	-0.5321	-0.0972	1.3644	2.0881
Producto	5.7559	3.7142	4.0244	0.9176	4.1115
Capital	4.4219	2.0279	0.9547	3.0985	2.9972
PTF	0.3369	2.6798	3.4349	-1.6332	1.4739

Fuente: Cálculos propios a partir de censos económicos de INEGI: 1994, 2004, 2009 y 2014.

Una vez aplicada la ecuación 1 de la PTF, se calcularon los principales resultados para cada subperiodo y para todo el periodo. En el Cuadro 5 se presentan los crecimientos que ha mostrado la región frontera norte en las variables trabajo, capital, producción y productividad total de los factores para el periodo 1993-2013, y para los subperiodos 1993-1998, 1998-2003, 2003-2008, 2008-2013.

En el primer subperiodo 1993-1998 se pueden observar altas tasas de crecimiento en el trabajo y producto, y en menor medida, en el capital. Dicho rendimiento puede ser sustentado por el impacto que ocasionó la puesta en marcha del TLCAN en la industria manufacturera en las localidades fronterizas del país. En el mismo sentido de razonamiento, Carbajal *et al.* (2018) notaron que la apertura comercial y el incremento de la inversión extranjera directa debido a su desregulación, favorecieron de forma significativa al establecimiento de nuevas empresas en los

estados fronterizos, incrementando, como resultado, los niveles de empleo y producción. No obstante, también como resultado, se calcularon tasas de crecimiento de la PTF mínima de 0.33% anual, lo cual puede estar sustentado bajo la premisa que señalaron Jorgenson *et al.* (1987) de que la productividad tiene una relación positiva, y que crece por efecto de las inversiones de capital y, por el contrario, una relación negativa disminuye por efecto del decremento de la fuerza de trabajo. Precisamente en este subperiodo, lo laboral presenta un mayor incremento, lo que refleja el pobre desempeño de la PTF. Para el subperiodo 1998-2003, las tasas de crecimiento fueron negativas en el trabajo, no así en el producto, el capital y la PTF, las cuales registran resultados positivos. En la misma sintonía, se reflejan similares resultados para el subperiodo 2003-2008 donde el crecimiento de la PTF fue 2.67% y 3.43% anual, respectivamente para cada subperiodo. Resulta claro que, a partir del cierre de

empresas maquiladoras en la frontera norte de México en el 2002, a causa de los ataques terroristas a los Estados Unidos de América en 2001, impactó negativamente en el empleo, sin embargo, trajo mejores rendimientos en el capital y el trabajo, lo cual se tradujo en un incremento de la PTF para ambos subperiodos.

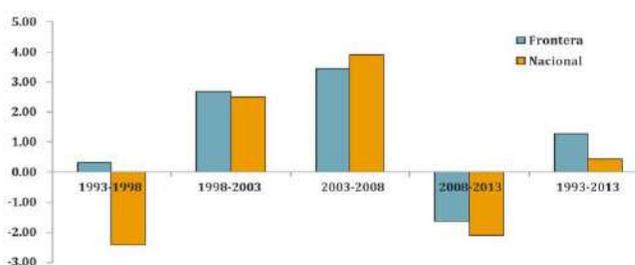
En contraste, se puede observar que para el subperiodo 2008-2013 se tiene un crecimiento en la PTF de -1.63% y aumentos mínimos en el producto y el trabajo. Estos resultados podrían ser respaldados, tal y como lo sugieren Jiménez y Marchetti (2002), al indicar que la medición de la productividad observa un comportamiento procíclico, pues está positivamente correlacionada con las fluctuaciones económicas, es decir, en este subperiodo de análisis se presentó una crisis financiera global, cuyo origen fue en Estados Unidos de América y se propagó al resto del mundo, teniendo fuertes repercusiones en México y, fundamentalmente, en las regiones fronterizas del norte.

En el periodo 1993-2013 se encuentran resultados positivos en cada una de las variables, se puede destacar que, si bien se tiene un aumento significativo en el producto, esto ha sido respaldado por un uso extensivo del capital, una contribución significativa menor por el trabajo y un reducido crecimiento de la PTF. Los resultados muestran un impulso importante en las variables de empleo y de crecimiento una vez iniciado el TLCAN, no obstante, las etapas posteriores a su aplicación han venido reflejando una desaceleración de la productividad total de los factores, incluso hasta llegar a un decrecimiento en los últimos años.

En general, al utilizar la herramienta de fuentes de crecimiento, se puede señalar que los anteriores resultados apuntan hacia un impulso muy significativo en términos de generación de empleo en la región frontera norte, sin embargo, no ha venido acompañado de crecimientos importantes de la productividad. En consecuencia, se puede inferir que el cambio regional a partir de la implementación del TLCAN no ha propiciado un crecimiento económico más acelerado para nuestro país. Lo anterior está sustentado en la Figura 2, la cual muestra todo el periodo de estudio (1993-2013), y donde la PTF refleja

crecimientos muy limitados tanto a nivel regional como nacional. Se observa que la región en estudio registró un crecimiento de la PTF de 1.47% anual, en tanto que a nivel nacional fue de 0.46% para todo el periodo. Ello sugiere que el crecimiento de la región, a pesar de ser una zona con mayor contribución a la producción y el empleo, no ha sido el detonante de la productividad como se hubiese esperado y que, por lo tanto, no ha impulsado un crecimiento acelerado de la economía nacional.

Figura 2. Productividad total de los factores a nivel nacional y región frontera norte en términos porcentuales en el periodo 1993-2013.



Se puede inferir que el cambio regional presentado en nuestro país, causado por la relocalización de las actividades industriales, específicamente la reestructuración geográfica de las empresas manufactureras, no ha promovido un crecimiento económico apropiado, ya que la región frontera norte presenta baja productividad a pesar de contar con el mayor crecimiento en el empleo y el producto en el país, lo cual implica una reducción en la aportación de las manufacturas en el crecimiento y desarrollo económico.

Conclusiones

En primera instancia, al efectuar el análisis de las fuentes de crecimiento de la dinámica de las manufacturas mexicanas, es notable como a partir de la apertura comercial emprendida por México y con la integración económica con Estados Unidos y Canadá en el TLCAN, las manufacturas nacionales muestran una desconcentración y descentralización de las actividades, a través del cambio estructural en el patrón de localización industrial y en la dinámica del crecimiento regional, resultando beneficiadas las entidades fronterizas del norte del país con el

establecimiento de empresas manufactureras, principalmente empresas maquiladoras, convirtiéndose en la región que más contribuye al empleo y la producción de la economía mexicana.

Mediante indicadores de productividad laboral y de grado de participación del empleo y de la producción, se confirma la importancia de las entidades fronterizas, al ser la región que presenta mayor contribución a la fuerza laboral y a los niveles de producción. En particular, los resultados manifiestan un impulso importante para la región frontera norte en materia de empleo y de producción, aportando 36% del personal ocupado, y un poco más de 35% del valor agregado censal bruto del total nacional. Dicho estímulo no se ha traducido en mayores niveles de crecimiento de la productividad. De acuerdo con la metodología implementada del residuo de Solow en términos de productividad total de los factores, se obtienen estimaciones que revelan el limitado crecimiento para la región frontera norte y un crecimiento casi nulo a escala nacional durante el periodo de estudio. El índice de PTF construido registra en la región frontera norte un crecimiento de 1.47% anual, en tanto que a nivel nacional es de 0.46%, lo cual corrobora una desaceleración de la productividad de las manufacturas mexicanas en el periodo más reciente. Esto es, se puede inferir que el cambio regional no ha promovido un crecimiento económico apropiado para la economía mexicana, ya que la región frontera norte, a pesar de presentar los mayores niveles de crecimiento en el producto y en la fuerza laboral, no ha sido capaz de traducirlo en un mejor dinamismo en términos de productividad, lo cual implica una reducción en la contribución de las manufacturas en el desarrollo económico del país.

Por todo lo anterior, se puede establecer que una vez comprobado que la región frontera norte, a través de la contribución de la productividad total de los factores, no ha acelerado el crecimiento de la economía mexicana, esto refleja que se tienen aspectos por mejorar, en donde un papel fundamental es la incorporación del progreso técnico a las actividades productivas que permitan potencializar el crecimiento y desarrollo futuros. Ello refuerza la idea de priorizar el diseño de políticas tendientes a mejorar la productividad total de los factores que beneficien el incremento de la eficiencia de los procesos productivos.

Referencias bibliográficas

- ATAYDE, R. 2016. Análisis del crecimiento de la productividad total de los factores de los estados de México 1998-2013, 21° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Mérida, Yucatán. AMECIDER – ITM.
- BARRO, R. J. 1999a. «Determinants of Economic Growth: Implications of the Global Experience for Chile.» *Cuadernos de Economía* 36(107).
- BARRO, R. and X. Sala-i-Martin. 2004. «Economic growth and convergence across the US», NBER Working Paper n° 3419.
- BROWN, F. y L. Domínguez. 2004. Evolución de la productividad en la industria mexicana: una aplicación con el método de Malmquist, *Investigación Económica* 53(249):75-100.
- CANDÍA, C., M. Aguirre, N. Correa, y M. Herrera. 2016. La productividad total de factores en el sector manufacturero chileno. *Revista de Economía Institucional* 18(35):36-44.
- CARBAJAL, Y., B. Carrillo y L. Almonte. 2018. Dinámica productiva del sector automotriz y la manufactura en la frontera norte de México: Un análisis con datos de panel, 1980-2014, *Frontera norte* 30(59):55-80.
- CASTRO, C., J. Perilla y J. Gracia. 2006. El comercio internacional y la productividad total de los factores en Colombia. Archivos de Economía, N.º 307, Bogotá, DNP, 43 pp.
- CEPAL. 2016. Productividad y brechas estructurales en México, México. D.F.
- DE LEÓN, A. 2007. Cambio regional del empleo y productividad manufacturera en México. El caso de la Frontera Norte y las Grandes Ciudades: 1970-2004, Universidad de Guadalajara.
- DÍAZ BAUTISTA, A. 2017. Total factor productivity (tfp) in Manufacturing and Economic Growth in Mexico. *Análisis Económico* 79(32):100-120.
- DÍAZ BAUTISTA, A. 2003. Mexico's Industrial Engine of Growth: Cointegration and Causality. *Revista Momento Económico* 126:34-41.
- DOIMEADIÓS, Y. 2010. El crecimiento económico en Cuba. Un análisis desde la productividad total de los factores, México, D.F., UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas: CEPAL.
- DOMÍNGUEZ, M., B. Lanzilotta, S. Rego y P. Regueira. 2014. Productividad Total de los Factores en Uruguay 1991-2013, Centro de investigaciones económicas, Documento de trabajo.
- EASTERLY, W. y R. Levine. 2001. It's Not Factor Accumulation: Stylized Facts and Growth Models, IMF Seminar Series 2000-12. Fondo Monetario Internacional, Washington, D.C.
- FERNÁNDEZ, R., F. Almagro y J. Terán. 2013. Un análisis de la productividad total de factores ampliada en la industria manufacturera de México 2003-2010. *Investigación Administrativa* 112:51-63.
- HERNÁNDEZ LAOS, E. 1993. Coordinador, Evolución de la productividad total de los factores en la economía mexicana (1970-1989), Secretaría del Trabajo y Previsión Social, Cuadernos del trabajo.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 1994. Censos Económicos 1994, México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 1999. Censos Económicos 1999, INEGI. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/accesomicrodatos/ce1999/default.aspx>

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 2004. Censos Económicos 2004, INEGI. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/accesomicrodatos/ce2004/default.aspx>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 2009. Censos Económicos 2008, INEGI. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/accesomicrodatos/ce2009/default.aspx>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 2014. Censos Económicos 2014, INEGI. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/accesomicrodatos/ce2014/default.aspx>
- JIMÉNEZ, M. y J. Marchetti. 2002. Interpreting the procyclical productivity of manufacturing sectors: can we really rule out external effects? *Applied Economics* 34:805-817.
- JORGENSEN, D., F. Gollop y B. Fraumeni. 1987. *Productivity and U. S. Economic Growth*, Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- LIVAS, R. y P. Krugman. 1992. «Trade Policy and the Third World Metropolis», Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, Working Paper No. 4238.
- LOAYZA, N., P. Fajnzilber y C. Calderon. 2005. *Economic Growth in Latin America and the Caribbean: Stylized Facts, Explanations, and Forecasts*. Banco Mundial, Washington, marzo, 168 pp.
- LÓPEZ-PUEYO, M., S. Barcenilla, Mancebón y J. Sanaú. 2008. La productividad total de los factores en los países desarrollados. Componentes y factores determinantes. *Ekonomiaz* 68(2).
- MAIA, J. y P. Nicholson. 2001. El stock de capital y la productividad total de los factores en la Argentina, Documento de trabajo del Ministerio de Economía, Dirección Nacional de Coordinación de Políticas Macroeconómicas.
- MELONI, E. 1999. Crecimiento potencial y productividad en la Argentina: 1980-1997, Discussion paper, Secretaría de Programación Económica y Regional.
- OCEGUEDA, J. M. 2003. Análisis kaldoriano del crecimiento económico de los estados de México, 1980-2000. *Comercio exterior* 53(11):1024-1034.
- SALGADO, H. and L. Bernal. 2007. «Productividad Multifactorial y sus Determinantes: Un Análisis Empírico para el Sector Manufacturero Mexicano». Bank of Mexico, Working Paper No. 2007-09.
- SÁNCHEZ, I. y E. Campos. 2010. Industria manufacturera y crecimiento económico en la frontera norte de México. *Región y Sociedad* 22(49):45-89.
- SOLOW, R., 1956. «A Contribution to the theory of Economic Growth» *Quarterly Journal of Economics* 70:65-94.
- TELLO, M., 2017. Productividad total factorial en el sector manufacturero del Perú: 2002-2007, *Economía* 35(70):103-141.
- THIRLWALL, A. 2003. La naturaleza del crecimiento económico. Un marco alternativo para comprender el desempeño de las naciones. México: Fondo de Cultura Económica. ⑥

Este artículo es citado así:

Félix Armenta, J., O. A. Viramontes-Olivas, E. Guerra García y S. A. Galaviz Acosta. 2019. Análisis de la Productividad Total de Factores (PTF) en las Manufacturas Mexicanas: el Caso de la Frontera Norte: 1993-2013. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 13(2):74-85. DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v13i2.463>

Resumen curricular del autor y coautor

JIMMY FÉLIX ARMENTA. Terminó la carrera de Licenciatura en Economía en la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS) en 2005. Obtuvo el grado de Maestría en Economía en la Universidad de Guadalajara en 2007. Fue asistente de investigación en el CUCEA de la Universidad de Guadalajara, de 2006 a marzo de 2008. Actualmente es profesor a nivel licenciatura y maestría de la Universidad Autónoma de Durango (UAD) y de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS).

OSCAR ALEJANDRO VIRAMONTES OLIVAS. Posdoctorante por la Universidad Autónoma Intercultural de Sinaloa (2018-2019). Doctor en Ciencias Agropecuarias por la Universidad Autónoma de Baja California (2005-2008). Doctor en Administración en Universidad Autónoma de Chihuahua (2015-2018), segundo lugar mejor promedio; profesor investigador en Universidad Autónoma de Chihuahua (1986 a la fecha). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores -SNI- (2011-2014); Perfil Deseable (PRODEP) de 2009 a la fecha. Miembro desde 2014 a la fecha del Comité Científico de revistas Investigación y Ciencia (UAA), Tecnociencia (UACH) de 2008-a la fecha y Ra-Ximhai de la UAIS (2012 a la fecha). Ha publicado artículos científicos en revistas indexadas y arbitradas nacionales e internacionales y conferencista en Congresos científicos. Ha escrito trece libros. Tiene participación en 11 libros con capítulos en diversos temas. Inscrito como escritor nacional en el Catálogo Bibliográfico de la Literatura en México (INBA). Premio Estatal de Periodismo 2011 "Jesús Vasconcelos" con la crónica "El Diario de Ágata" y locutor con licencia Tipo "A".

ERNESTO GUERRA GARCÍA. Es doctor en Enseñanza Superior por el Centro de Investigación y Docencia en Humanidades del Estado de Morelos. Obtuvo la Maestría en Economía (1995) y la Licenciatura en Física en la Facultad de Ciencias Físico - Matemáticas de la UANL (1985). Ha sido profesor de universitario de licenciatura y posgrado en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) (1982-1988), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) (1990-1994), la Universidad Autónoma de Occidente (UAdO) (1997-a la fecha), la Universidad del Valle del Fuerte (UNIVAFU) (2015 a 2017), entre otras. Actualmente ejerce el puesto de Coordinador General de Investigación y Posgrado (2017- a la fecha). De 2007 a 2011 participó en el proyecto de investigación "Diversidad Cultural y Educación Superior" para el Instituto para la Educación Superior de América Latina y El Caribe (IESALC) de la UNESCO. Es miembro honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores y desde 2010 pertenece al Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT, en el que actualmente tiene el nivel II.

SERGIO ANTONIO GALAVIZ ACOSTA. Cursó los estudios de doctorado en Ciencias Sociales en la Universidad Autónoma Indígena de México de 2014 a 2018. Terminó los estudios de Maestría en Administración con especialidad en Desarrollo Organizacional en 2013 en la Universidad de Occidente, Unidad Los Mochis. Cursó la carrera de Ingeniería en Sistemas de Calidad de 2004 a 2008 en la Universidad Autónoma Indígena de México. Desde 2002 es docente de la Universidad Autónoma Intercultural del estado de Sinaloa (UAIS) en el programa de Ingeniería en Sistemas de Calidad. Fue docente en el Instituto Tecnológico de los Mochis (ITLM) de 2005 a 2018.

Hacia una didáctica específica para la asignatura de Ergonomía en una universidad mexicana

Thorough a specific didactic in the ergonomics' class for a Mexican university

HÉCTOR D. MOLINA-RUIZ^{1,5}, CRUZ GARCÍA-LIRIOS², JAVIER CARREÓN-GUILLÉN³,
MÓNICA GARCÍA-MUNGUÍA¹ Y ARTURO SÁNCHEZ-SÁNCHEZ⁴

Recibido: Febrero 6, 2019

Aceptado: Mayo 2, 2019

Resumen

La inclusión de estrategias para el aprendizaje significativo en los diferentes niveles de educación da al estudiante la posibilidad de generar un proceso de apropiación del conocimiento, propicio para su desempeño social, profesional, laboral. Con el objetivo de sustentar esta propuesta, a partir de una revisión de literatura, se definieron dos actividades para evaluación de la estrategia didáctica vinculada a los temas que se abordan en clase, además de definirse los procesos e instrumentos de evaluación. Se generó una secuencia didáctica que permite el abordaje de la primera temática impartida en la materia Ergonomía, para la licenciatura en Ingeniería Industrial del campus, objeto de estudio. Se muestra el diseño de la secuencia didáctica para la materia de Ergonomía, como propuesta para el desarrollo e integración de una didáctica específica para la materia, lo cual, en un momento posterior, permitirá alinear las diferentes materias que conforman el programa educativo a los estándares del enfoque constructivista, el cual es la base del modelo educativo por competencias instaurado en México desde los años 80, considerado el paradigma educativo actual del sistema educativo nacional.

Palabras clave: estrategia didáctica, método constructivista, valores educativos.

Abstract

The inclusion of strategies for meaningful learning in the different levels of education gives the student the possibility of generating a process of appropriation of knowledge, conducive to their social, professional and work performance. In order to support this proposal, based on a literature review, two activities were defined for the evaluation of the didactic strategy linked to the topics addressed in class, in addition to defining the evaluation processes and instruments. A didactic sequence was generated that allows the approach of the first subject taught in the Ergonomics course, for the Industrial Engineering degree of the campus, object of study. The design of the didactic sequence for the Ergonomics subject is shown as a proposal for the development and integration of a specific didactic for the subject, which, at a later time, will allow aligning the different subjects that make up the educational program to the standards of the constructivist approach, which is the basis of the educational model by competencies established in Mexico since the 80's, considered the current educational paradigm of the national educational system.

Keywords: didactic strategy, constructivist method, educational values.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO. INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA, MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO, MÉXICO. TEL.: +52 (771) 717-2000, EXT. 5850.

² UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO. UNIDAD PEDAGÓGICA DE HUEHUETOCA, HUEHUETOCA ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO, +52 (55) 2518-4238

³ UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. ESCUELA NACIONAL DE TRABAJO SOCIAL, C.U., COYOACÁN, CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO +52 (55) 1377-6334

⁴ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA. FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS, TLAXCALA, MÉXICO, +52 (246) 462 3856.

⁵ DIRECCIÓN ELECTRÓNICA DEL AUTOR DE CORRESPONDENCIA: HMOLINA@UAEH.EDU.MX



Introducción

Houssay (1941) apunta que la función de la universidad consiste en crear los conocimientos, propagarlos, desarrollar y disciplinar a la inteligencia, formar los hombres más selectos por su cultura y su capacidad. Por un lado, la función social de la universidad permite al docente perpetuar el proceso de retribución a la sociedad, por otro, permite al estudiante acceder a niveles y roles sociales decorosos, que, sin su ingreso, estancia y egreso de la universidad, no podría alcanzar.

La educación es el núcleo de las relaciones entre costumbres y cambios de una sociedad, por lo cual es simultáneamente la más conservadora de las actividades, al pretender preservar el pasado, y la más transformadora, porque en su misión orienta los desarrollos futuros de la condición humana (Amar-Amar, 2000). Por su parte, Castillo-Romero (2012) apunta que la educación es, sobre todo, un fenómeno cultural humano, forma parte de un proceso histórico colectivo consciente, donde la filosofía, la moral política de gobernantes, y grupos políticos con diversas ideologías concretan el ideal, métodos, estrategias e instrumentos a utilizar dentro de los procesos sociales de enseñanza y aprendizaje, orientados y acordes con los ideales históricos contenidos en la constitución.

El nuevo ambiente de educación por competencias, que promueve como figura central del proceso de enseñanza aprendizaje al estudiante, precia la implementación de estrategias y actividades constructivistas. En este sentido, los autores clásicos del constructivismo como Lev Vigotsky, Jean Piaget y David Ausubel, señalan la importancia del conocimiento previo para la generación de un aprendizaje significativo. El aprendizaje significativo es el fin del modelo pedagógico constructivista que se fomenta en el modelo de aprendizaje por competencias, instaurado en el sistema educativo nacional y engarzado al modelo educativo de la universidad.

El desarrollo de competencias en el estudiante implica la cobertura, aprendizaje y evaluación desde diferentes ámbitos (Molina-Ruiz y Rojano-Chávez, 2015). Como se expresa en Molina-Ruiz y Rojano-Chávez (2014), el ámbito de la educación por competencias considera diferentes aspectos como conocimientos, habilidades, actitudes y valores del

estudiante. Estos aspectos conforman el marco para la formación competente del estudiante, indispensables para generar un aprendizaje para la vida.

La educación en México exige atención especializada, sobre todo por el ambiente educativo por competencias. Cada institución educativa necesita gestionar sus procesos al interior y al exterior de ella. El presente estudio aborda la didáctica específica para la materia de Ergonomía impartida en el programa educativo de Ingeniería Industrial en una universidad autónoma del centro del país. Para el caso de la materia en cuestión, se cuenta con un sistema informático que permite dar seguimiento a la planeación de las secuencias didácticas, en el cual se sugieren estrategias y actividades generales para ser abordadas en la materia, sin embargo, el nivel de detalle, no incluye la didáctica específica para la asignatura o para alguna otra asignatura del programa.

Materiales y métodos

Se diseñó una secuencia didáctica específica que aborda las diferentes actividades a realizar durante la impartición de la cátedra vinculada a la enseñanza-aprendizaje para la materia en cuestión (Ergonomía). Con el objetivo de sustentar la propuesta se realizó la revisión de la literatura para delimitar el contexto educativo mexicano, así como el uso de estrategias de aprendizaje que den fundamento teórico a la propuesta.

A continuación, se reflexionó al respecto de las actividades iniciales que pueden abordar los estudiantes de forma autogestionada, con poca intervención directa del profesor (facilitador). Se definieron dos actividades para evaluación de la estrategia didáctica vinculada al primer tema que se aborda en la clase, además de definirse los procesos e instrumentos de evaluación.

Cabe hacer mención que, a partir de este primer paso, se continúa desarrollando la secuencia didáctica que permita abordar cada uno de los tópicos considerados en el temario de la asignatura (Ergonomía), para el programa educativo de Ingeniería Industrial objeto de estudio.

Estilos de aprendizaje y sus estrategias

El aprendizaje humano es un proceso de incesante descubrimiento por parte de todos quienes se interesan en el quehacer educativo (Figueroa-Cepeda *et al.*, 2017). Para desarrollar y llevar a cabo el proceso de enseñanza aprendizaje, se han generado estrategias, herramientas y metodologías para apoyar dicho proceso.

A lo largo de la historia, el hombre se ha interesado por el estudio de la conciencia y por la forma como se adquiere el conocimiento (Álvarez-Arboleda, 2007). Existen diversas técnicas y escuelas que abordan diferentes metodologías para facilitar y concretar el proceso de enseñanza aprendizaje, denominadas «modelos pedagógicos». Entre las teorías de aprendizaje o modelos pedagógicos se encuentran: Asociacionismo (Álvarez-Arboleda, 2007); Cognitivismo (Zumalabe-Makirriain, 2012); Conductismo (Ertmer y Newby, 1993); Conectivismo (Siemens, 2004); Constructivismo (Ertmer y Newby, 1993); De imitación (López-Vélez y Peláez, 2007); Funcionalismo (Álvarez-Arboleda, 2007); entre otras.

Entre los dos modelos pedagógicos más importantes, se encuentran el Conductismo y Constructivismo. El Conductismo, también conocido como método instruccional, implica un cambio de conducta, efectuándose cuando a un estímulo interno o externo se asocia una respuesta voluntaria o involuntaria (Calvo-Guevara, 2014). El conductismo refiere a lo externo y visible del comportamiento, por un lado, el aprendizaje se estimula por medio de la recompensa (refuerzo positivo) o castigo (refuerzo negativo), por otro, no se consideran propósitos o la inteligencia del individuo; el principal exponente del conductismo es Robert Garné, cabe hacer mención que en el conductismo aprendizaje se satisface con la observación de una respuesta a un estímulo.

Siguiendo a Calvo-Guevara (2014), en el constructivismo, también conocido como método constructivista, el aprendizaje es un proceso inteligente, interno y activo, que se efectúa cuando el

individuo reorganiza su percepción del mundo y la reincorpora como una nueva estructura cognitiva; refiere a la relación de las nuevas experiencias con los conocimientos previos. En el constructivismo el aprendizaje se estimula por medio de la motivación, recompensa (refuerzo positivo), aptitudes; sus exponentes destacados son, Lev Vigotsky, Jean Piaget y David Ausubel; en el constructivismo, el aprendizaje se satisface, poniendo énfasis en la formación de las ideas.

Estilos de aprendizaje

Los paradigmas son modelos que explican la realidad y dirigen las investigaciones hacia hechos y teorías predominantes en el ámbito científico y tecnológico; la pedagogía, por ejemplo, ha transitado por diversos paradigmas que le han permitido diseñar modelos de enseñanza-aprendizaje (Aragón-García y Jiménez-Galán, 2009).

Los distintos modelos y teorías existentes sobre estilos de aprendizaje ofrecen un marco conceptual que permiten entender el comportamiento, cómo se relaciona este con la forma en que están aprendiendo las personas y el tipo de acción que puede resultar más eficaz en un momento dado (Casimiro-Piña, 2014). Con respecto a los estilos de aprendizaje, existen distintas posturas para lograr evaluar y comprender el aprendizaje en el estudiantado (Cantú-Martínez y Rojas-Márquez, 2018). En este contexto, es importante atender a los estudiantes con diversas estrategias, privilegiando los diversos estilos, con objeto de generar un aprendizaje significativo.

De acuerdo con Valencia-Gutiérrez y López-Méndez (2018), las características principales de los diferentes estilos de aprendizaje son:

- 1) Estilo activo: animador, improvisador, descubridor, arriesgado y espontáneo.
- 2) Estilo reflexivo: ponderado, concienzudo, receptivo, analítico y exhaustivo.
- 3) Estilo teórico: metódico, lógico, objetivo, crítico y estructurado.
- 4) Estilo pragmático: experimentador, práctico, directo, eficaz y realista.

Al identificar los diferentes estilos de aprendizaje que poseen los estudiantes, se crea la pauta para la integración de estrategias de aprendizaje, permitiendo al estudiante llevar a cabo la apropiación del conocimiento.

Estrategias para el aprendizaje significativo

Las estrategias para el aprendizaje significativo pueden detonar la apropiación del conocimiento en el estudiante. En el siguiente cuadro se abordan diferentes estrategias para el aprendizaje significativo, su conceptualización y su aplicación en la labor docente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estrategias para el aprendizaje significativo y concepto. Fuente: elaboración propia, con base en la práctica docente y la revisión de la literatura.

Estrategia	Concepto	Ejemplo para la materia
Mapa conceptual	Un mapa conceptual puede ser considerado como una representación visual de la jerarquía y las relaciones entre conceptos contenidas en la mente (González-García, 1992). En Stewart, van Kirk y Rowell (1979), se apunta que el mapa conceptual es un instrumento para representar la estructura conceptual de una disciplina o segmento de una disciplina, en dos dimensiones.	Para la propuesta de estrategia didáctica, abordada en el presente documento se plantea la creación de un mapa conceptual, vinculado a la temática 1.1. Antecedentes de la Ergonomía
Cuadro C-Q-A	En Ogle (1986) se asienta que el cuadro C-Q-A o K-W-L (por sus siglas en inglés), es un procedimiento para tres pasos cognitivos básicos requeridos: acceder a lo que se Conoce ; determinar lo que se Quiere conocer ; y, recordar lo que se ha Aprendido , como resultado de un proceso de lectura.	Al abordar el tema 4.2. Tendencias de la Ergonomía, el estudiante, puede generar un cuadro C-Q-A, para que, con base en los conocimientos adquiridos, pueda vislumbrar las tendencias de la disciplina.
Cuadro sinóptico	Para Pimenta-Prieto (2012), el cuadro sinóptico es un esquema gráfico muy utilizado, ya que permite organizar y clasificar información, caracterizándose por establecer los conceptos de lo general a lo particular, y de izquierda a derecha, en orden jerárquico, utilizando llaves; el cual es útil para clarificar relaciones entre conceptos, desarrollar la habilidad para clasificar y jerarquizar, además de organizar el pensamiento y facilitar la comprensión de un tema.	En la unidad IV, que considera los factores ambientales en el trabajo, es factible el desarrollo de un cuadro que clasifique la información concerniente a cada factor ambiental (iluminación, ruido, temperatura, ventilación, vibración), considerado en la unidad.
Diagrama de flujo	Un diagrama de flujo es una representación gráfica que desglosa un proceso en cualquier tipo de actividad a desarrollarse tanto en empresas industriales o de servicios y en sus departamentos, secciones o áreas de su estructura organizativa (Manene, 2011). A su vez, en MIDEPLAN (2009), se apunta que un diagrama de flujo es la representación gráfica de flujo de un algoritmo o de una secuencia de acciones rutinarias, basado en la utilización de diversos símbolos para representar operaciones específicas; nominados así, dado que los símbolos utilizados se conectan por medio de flechas para indicar la secuencia de la operación.	Al considerar el tema 5.1., dado que se aborda el diseño de un programa ergonómico, se puede vincular a dicho tema la integración de un diagrama de flujo que contenga las diferentes fases del programa ergonómico.
Línea de tiempo	Las líneas del tiempo son mapas conceptuales que, de manera gráfica y evidente, ubican la situación temporal de un hecho o proceso, del periodo o sociedad que se estudia; siendo una herramienta de estudio que permite "ver" la duración de los procesos, la simultaneidad o densidad de los acontecimientos, la conexión entre sucesos que se desarrollaron en un tiempo histórico determinado y la distancia que separa una época de otra; además de ser un ejercicio de la memoria, y también es un ejercicio de otras capacidades, como la de organizar la información según criterios cronológicos, la de distinguir sucesos basados en relaciones de causa-efecto o la de representar una serie cronológica a través de formatos visuales.	Dado que la temática 1.1. Antecedentes de la Ergonomía, implica la consideración de fechas o acontecimientos históricos, es prudente la creación de una línea de tiempo, en el abordaje de la mencionada temática.
Resumen	El resumen forma parte de lo que J. Chaumier denominó en su día la cadena documental; tratándose de un punto de partida de las operaciones documentales en virtud de su capacidad de respuesta a las necesidades informativas y comunicativas de los investigadores; por otro lado, es un proceso de identificación y representación del contenido del documento (Alonso-Arévalo, 2004)	Para finalizar el abordaje de cada unidad temática, se puede solicitar al estudiante la integración de un resumen por unidad temática el cual además ayudaría con el proceso de representación del contenido (información) desarrollado en cada unidad.
Señalizaciones en el texto	La presencia de señalizaciones en el texto lleva a una representación más coherente y completa de la estructura temática del texto, de lo que podría ocurrir en la ausencia de señalización (Lorch Jr. y Lorch, 1996). Dentro de estos recursos de señalización se tienen: los títulos, encabezados, subrayado, objetivos, resúmenes, organizadores gráficos, etc. (Medina Gómez, 2001). Cuando el texto contiene señales que lo organizan, los lectores experimentados cambian a una estrategia de procesamiento del texto, la cual es sensitiva a la estructura temática del texto (Lorch Jr. et al., 2001).	Durante el abordaje de la materia, es propicio utilizar diferentes documentos (artículos científicos, capítulos de libro y/o libro) con objeto de fortalecer la apropiación del conocimiento. En estos documentos se puede efectuar la señalización del contenido que se considere de mayor importancia o relevancia por parte del estudiante.

En el Cuadro 2 se presentan estrategias adicionales y de mayor complejidad, que pueden ser usadas en clase para propiciar la construcción de conocimiento y el aprendizaje significativo.

Cuadro 2. Estrategias para el aprendizaje significativo adicionales usadas en clase concepto. Fuente: Elaboración propia, con base en la práctica docente y la revisión de la literatura.

Estrategia	Concepto	Ejemplo para la materia
Estudio de caso	El método de estudio de caso es una estrategia metodológica de investigación científica, útil en la generación de resultados que posibilitan el fortalecimiento, crecimiento y desarrollo de las teorías existentes o el surgimiento de nuevos paradigmas científicos; por lo tanto, contribuye al desarrollo de un campo científico determinado (Martínez-Carazo, 2006).	Se aborda el caso de la situación ergonómica en una empresa del sector fotovoltaico, con el cual el estudiante tiene un panorama de las posibles soluciones para el manejo de carga (inadecuado).
Aprendizaje basado en proyectos	El tipo de aprendizaje a través de la implementación de proyectos se denomina "aprendizaje basado en proyectos" (ABPr) (Rodríguez-Sandoval, Vargas-Solano y Luna-Cortés, 2010). Con la aplicación de esta estrategia, los estudiantes definen el propósito de la creación de un producto final, identifican su mercado, investigan la temática, crean un plan para la gestión del proyecto y diseñan y elaboran un producto (Rodríguez-Sandoval, Vargas-Solano y Luna-Cortés, 2010). Ellos comienzan el proyecto solucionando problemas, hasta llegar a su producto (Rodríguez-Sandoval, Vargas-Solano y Luna-Cortés, 2010).	El estudiante aborda una problemática (o problema) que pudiera existir en alguna organización de la región, por medio del cual se propone una mejora en respuesta. La estrategia de aprendizaje basado en proyecto se considera la base para la entrega de un proyecto final, como parte de la calificación que puede obtener cada estudiante en la clase.
Aprendizaje basado en problemas	<p>Una gran variedad de métodos educativos han sido referidos como aprendizaje basado en problemas (ABP); métodos que permiten lograr diversos objetivos educativos (Barrows, 1986).</p> <p>Para Barrows y Tamblyn (1980), en el aprendizaje basado en competencias el estudiante toma un problema como estímulo para el aprendizaje en el área, materia o disciplina apropiada para el alumno en un determinado momento, ayudándolo para el desarrollo de habilidades en la solución de problemas.</p> <p>El aprendizaje basado en problemas acontece en pequeños grupos, usualmente de cinco a seis estudiantes con el acompañamiento de un tutor, cuyo rol principal consiste en facilitar el proceso de aprendizaje (Barrows, 1983). Este método de aprendizaje busca dos objetivos educativos: la adquisición de un cuerpo integrado de conocimiento vinculado al problema y el desarrollo o aplicación de las habilidades de solución de problemas (Barrows y Tamblyn, 1980).</p>	A través de un problema o problemática, el estudiante desarrolla una propuesta de solución con base en sus conocimientos previos y la búsqueda de información, en específico para las empresas de la zona con las que se tenga relación.

Hacia una didáctica específica para el abordaje de la asignatura.

Por un lado, las instituciones educativas que ofertan programas de nivel superior se han visto ocupadas en la impartición de programas que permitan el egreso de estudiantes competentes. Por otro lado, como se hace mención en Molina-Ruiz, Bravo-Vargas, Flores-García y Ordoñez-Hernández (2015), las instituciones universitarias del país, y a nivel internacional, buscan la excelencia en la calidad educativa de los programas educativos que imparten.

La Ergonomía surge con el origen mismo de la humanidad, dada la necesidad de adecuar las condiciones del medio a los requerimientos de la incipiente civilización. Las primeras aproximaciones a la Ergonomía tienen su origen en épocas más recientes. Vauban, en el siglo XVII, y Belidor en el siglo XVIII pueden ser considerados pioneros en los planteamientos y el análisis con metodología ergonómica, ya que intentan medir la carga de trabajo físico en el mismo lugar donde se desarrolla la actividad (Mondelo, Gregori, y Barrau, 1999).

La historia de la Ergonomía se remonta al siglo XIX cuando, posterior a la Revolución Industrial surgida en Inglaterra en el tercer cuarto del siglo XVIII, ya se empezaban a estudiar los principios del trabajo para aumentar la producción en medio de una situación de mercado de libre competencia (Camargo-Cea, 2013). En Apud y Meyer (2003) se menciona que la Sociedad de Investigaciones Ergonómicas fue creada en 1949 en Inglaterra. Lo cual dio paso a la organización del conocimiento en torno a la temática de la Ergonomía y, posteriormente, con el avance de la tecnología y la estructuración de la materia como una disciplina, permitió su impartición e incorporación como parte de los planes de estudio correspondientes a algunos programas de estudio en el nivel superior.

Desarrollar un curso sin estándares de calidad es similar a construir un edificio sin seguir especificaciones de construcción y seguridad (Baldwin, Ching y Hsu, 2018). Al respecto, es necesario que la integración de cursos, sean estos presenciales, semi-presenciales o virtuales, mantenga elevados parámetros de calidad, contando con diferentes instrumentos para su desarrollo, como: planeación temática, referencias (fuentes de

información por cada temática abordada), objetivos, competencias a desarrollar en el estudiante, instrumentos de trabajo (mapas conceptuales, líneas de tiempo, ensayos, etc.) evaluaciones parciales, evaluaciones sumativas, autoevaluaciones, evaluación del desempeño del docente, etc.

Contexto general de la asignatura

La apropiación del conocimiento a lo largo de la vida del estudiante, le permite la solución adecuada a los problemas que enfrenta en la vida cotidiana, además de aquellos retos que el estudiante tendrá dentro del ambiente laboral. Sin la perspectiva de la situación actual, que guarda el conocimiento apropiado por parte de los estudiantes, se inicia el desarrollo del semestre con la ausencia de un referente que permita la correcta homologación del conocimiento a lo largo del periodo escolar.

Proceso general de evaluación

El contexto de la evaluación es abordado por diversos autores (Smith y Branderurg, 1991; Taras, 2005; Hamilton, 2009; Cruz-Núñez y Quiñones-Urquijo, 2012; Cruz-Núñez y Quiñones-Urquijo, 2012; Parker, 2013; Sánchez-Giraldo y Escobar-Hoyos, 2015; Ohlsson, Han y Bouwman, 2017; Sesento-García, 2018; Luka, 2018; Fastring *et al.*, 2018).

En Colombo de Cudmani, Pesa de Danon y Salinas de Sandoval (1986) se expresa que, generalmente, tanto docentes como alumnos suponen que las características de una evaluación tradicional son:

a) Final, en el sentido de que se realiza cuando se ha cumplido la totalidad (o una parte importante) del contenido de la materia, es decir, cuando se ha completado el proceso de enseñanza de un determinado tema o grupo de temas de la disciplina. Así, el alumno podrá rendir uno, dos o más exámenes (totales o parciales) que lo habilitarán (o no) para aprobar la materia en cuestión.

b) Discontinua, en el sentido de que aparece como una interrupción del proceso enseñanza-aprendizaje; este debe detenerse para permitir la medición del nivel alcanzado por el alumno en los contenidos ya brindados. Luego se continuará con el desarrollo de la materia hasta la nueva interrupción planteada por la próxima evaluación. Y así sucesivamente.

c) Esencialmente calificatoria del alumno, en el sentido de que se le usa primordialmente para decidir si este ha alcanzado el nivel que el docente estableció como mínimo.

En contraposición, la concepción actual de la evaluación la entiende como un proceso sistemático, continuo, integral e integrado al proceso enseñanza/aprendizaje, destinado a determinar hasta qué punto se alcanzaron los objetivos prefijados.

Una evaluación, así concebida, enriquece el aprendizaje dando al estudiante nuevas oportunidades de aprender y desarrollar significados más profundos y conscientes (Restrepo-Gómez *et al.*, 2013). En este sentido, la evaluación es fundamental para el proceso de enseñanza aprendizaje.

Como bien hace mención Ganem-Alarcón (2014), el estudiante capitaliza la enseñanza en el mediano y largo plazo. Debido a lo anterior es muy prudente que el docente integre estrategias de evaluación bien estructuradas y que incluyan momentos de realimentación, para que el alumno reafirme sus aciertos y tenga la posibilidad de corregir sus errores.

Para UAEH (2005), el proceso de evaluación permite identificar los saberes adquiridos durante el proceso de enseñanza aprendizaje. La asignatura de «Ergonomía» perteneciente al programa educativo de ingeniería (en la universidad objeto de estudio) se utilizan tres momentos básicos para la evaluación: evaluación diagnóstica, aplicada al inicio del periodo escolar (semestre); evaluación formativa, que se lleva a cabo a lo largo del semestre, y evaluación sumativa, cuyo momento propicio se da al cierre del periodo escolar.

La palabra evaluación muchas veces desencadena en quien será evaluado una serie de mecanismos, muchos de ellos inconscientes, que identifican dicha evaluación con un obstáculo molesto que debe ser salvado de la mejor manera posible (Colombo-de-Cudmani *et al.*, 1986). Sin embargo, la evaluación es un ente vital y necesario para el proceso de enseñanza aprendizaje. La evaluación diagnóstica se permite generar un parámetro del conocimiento previo que tienen los estudiantes de la materia.

En el caso de la materia objeto de estudio, dicha evaluación consiste de un cuestionario de 10 preguntas, que permite validar el conocimiento previo que posee el estudiante (Figura 1).

Figura 1. Evaluación diagnóstica para la materia objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo UAEH

Escuela Superior Tepeji del Río
Licenciatura en Ingeniería Industrial
Séptimo Semestre – Ergonomía
Evaluación diagnóstica

Nombre del estudiante: _____ No. De cuenta: _____
Catedrático: _____ (Nombre el Día), (Mes) (# día), 201__

I- Defina el concepto de ergonomía.
II- Mencione al menos 5 acontecimientos históricos vinculados al desarrollo de la ergonomía.
III- Determine los objetivos de la ergonomía como área del conocimiento, al interior de las organizaciones.
IV- Estipule las características del binomio ser humano-máquina
V- Mencione y caracterice al menos 5 disciplinas auxiliares de la ergonomía
VI- Defina el concepto de antropometría
VII- ¿Cuál es la importancia de la motivación en las organizaciones?
VIII- ¿Cuáles son los beneficios para la organización, cuando existe un programa de capacitación o entrenamiento para los trabajadores?
IX- ¿Cómo afecta el estrés a la productividad de la organización?
X- Mencione y conceptualice los factores ambientales en el área de trabajo.

www.uaeh.edu.mx

STARS
CIEES
Escuela Superior Tepeji del Río

Como se expresa en Rosales-Mejía (2014), la evaluación durante el proceso de aprendizaje o formativo es un término que fue introducido el año 1967 por M. Scriven para referirse a los procedimientos utilizados por los profesores con la finalidad de adaptar su proceso didáctico a los progresos y necesidades de aprendizaje observados en los estudiantes. Para la materia de Ergonomía, consta de dos evaluaciones a lo largo del semestre, cuya extensión puede ser de 15 a 18 interrogantes abiertas y reflexivas (Figuras 2 y 3).

Para Orozco-Jutorán (2006), la evaluación sumativa es sin duda la más conocida y la única utilizada en muchos casos, es un balance que se realiza al final del periodo que dura una asignatura y que tiene por objeto conocer el grado de aprendizaje de los alumnos en ese espacio de tiempo concreto. A continuación se presenta un ejemplo de evaluación sumativa para la materia de Ergonomía (Figura 4).

Figura 2. Evaluación formativa del primer parcial para la materia objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Escuela Superior Tepeji del Río
Licenciatura en Ingeniería Industrial
Séptimo Semestre – Ergonomía
Primera evaluación parcial

Nombre del estudiante: _____ No. De cuenta: _____
Catedrático: _____ (Nombre el Día), (Mes) (# día), 201__

Resuelva correctamente cada uno de los planteamientos.

- I- Desarrolle un mapa conceptual que incluya al menos tres definiciones del concepto de ergonomía y al menos 7 objetivos de la ergonomía.
- II- Mencione al menos 5 acontecimientos o antecedentes de la ergonomía.
- III- Caracterice los elementos de sistema Hombre – Máquina – Entorno.
- IV- Determine y describa al menos 5 disciplinas auxiliares de la ergonomía.

www.uaeh.edu.mx

STARS, CIES, UAH, Escuela Superior Tepeji del Río

Figura 3. Evaluación formativa del segundo parcial para la materia objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Escuela Superior Tepeji del Río
Licenciatura en Ingeniería Industrial
Séptimo Semestre – Ergonomía
Segunda evaluación parcial

Nombre del estudiante: _____ No. De cuenta: _____
Catedrático: _____ (Nombre el Día), (Mes) (# día), 201__

- I- Realice una lista de verificación que contenga 10 aspectos del entorno, 10 aspectos de la máquina, 15 aspectos del hombre
- II- Efectúe un ensayo de dos cuartillas acerca de la temática abordada para el programa de capacitación (a aplicarse en planta).

www.uaeh.edu.mx

STARS, CIES, UAH, Escuela Superior Tepeji del Río

Para el caso de la materia objeto de estudio, se solicita la creación y aplicación de una lista de verificación y el desarrollo de un plan ergonómico. Cabe hacer mención que el desarrollo del plan ergonómico se fundamenta en una serie de parámetros que son abordados por el estudiante en clases previas; en particular, para dicho desarrollo se cuenta con un

formato que puede ser consultado en la siguiente liga: <https://drive.google.com/open?id=1xaL3qNG3yLyFk-xtGj2YmSsoWgYDQ5h9>.

Figura 4. Evaluación sumativa para la materia objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Escuela Superior Tepeji del Río
Licenciatura en Ingeniería Industrial
Séptimo Semestre – Ergonomía
Evaluación Global

Nombre del estudiante: _____ No. De cuenta: _____
Catedrático: _____ (Nombre el Día), (Mes) (# día), 201__

- I- Realice y aplique una lista de verificación que contenga 10 aspectos del entorno, 10 aspectos de la máquina, 15 aspectos del hombre y al menos 15 aspectos de los factores ambientales considerados en clase.
- II- Desarrolle un plan ergonómico para su posible aplicación en alguna organización de la región.

www.uaeh.edu.mx

STARS, CIES, UAH, Escuela Superior Tepeji del Río

El proceso de evaluación para la materia de Ergonomía considera tres momentos: Diagnóstica, que se efectúa al inicio de semestre y consta de una prueba objetiva de 10 reactivos; Formativa, la cual se realiza lo largo del semestre (dos momentos en el semestre) y consta de una prueba objetiva de 10 a 18 reactivos; Sumativa, la cual tiene lugar al finalizar el semestre, considerando una prueba objetiva con 20 a 25 preguntas o 1 a 2 desarrollos, más la entrega de proyecto final evaluado mediante rúbrica.

Estrategia didáctica

Para UAEH (2005), como disciplina del conocimiento humano, la sociología aporta elementos sustanciales para el diseño del modelo educativo, toda vez que su aportación en el análisis social. En UAEH (2010), se expresa el perfil de egreso del estudiante de la Ingeniería Industrial, en la cual se enmarca la materia objeto de estudio, el cual gira en torno a la identificación y solución de problemas en diferentes contextos del sistema productivo y recurso humano.

La identificación de las estrategias utilizadas permitirá diagnosticar la causa de esas diferencias de rendimiento y mejorar el aprendizaje (Beltrán-Llera,

2003). En el ámbito educativo se puede encontrar información acerca de las competencias en textos escritos, prácticas institucionales y en las memorias de encuentros, jornadas, congresos y similares (Bozu y Canto Herrera, 2009). A nivel del aula y como se hace mención en Argudín-Vázquez (2001) se deberán generar productos de aprendizaje, servicios y experiencias que coincidan con los parámetros en tiempos, responsabilidades, consumos, coherencia y conveniencia de la sociedad de la información.

Como señala Martínez-Rodríguez (1999), vale la pena destacar la importancia de concebir el desarrollo y el aprendizaje estrechamente vinculados y en una visión prospectiva, lo que puede propiciar una actitud claramente interactiva entre profesores y estudiantes. En Miras (1993) se menciona que la concepción constructivista responde afirmativamente a la cuestión del conocimiento previo y propone considerar un tercer aspecto indispensable en la radiografía inicial de los estudiantes: los conocimientos que ya poseen respecto al contenido concreto que se propone aprender, conocimientos previos que abarcan tanto conocimientos e informaciones sobre el propio contenido como conocimientos que de manera directa o indirecta se relacionan o pueden relacionarse con él.

A continuación, se presentan las características de la materia de Ergonomía, correspondiente al programa de Ingeniería Industrial, objeto de estudio:

- Identificación de la asignatura

Ergonomía, séptimo semestre, Licenciatura en Ingeniería Industrial, Plan 2010

- Unidad temática

Unidad I Concepto y aplicación de la Ergonomía

- Tema a desarrollar

«1.1. Antecedentes de la Ergonomía».

- Objetivo del tema

El estudiante identificará los datos históricos de la Ergonomía con el apoyo de documentos proporcionados para contextualizar la asignatura.

- Competencias genéricas

Competencia de Formación

Integrar los contenidos en diversas situaciones

(académicas, profesionales, sociales, productivas, laborales e investigativas) para la solución de problemas a través del empleo de métodos y estrategias centradas en el aprendizaje (aprendizaje basado en problemas, cooperativo, colaborativo, significativo, consultoría y proyectos, entre otros) con autonomía y con valores que se expresen en convicciones, así como su compromiso con la calidad en su modo de actuación de acuerdo con los estándares establecidos.

- Competencias específicas

Diseño, Implementación y Control de Condiciones de Trabajo Óptimas.

Diseñar las condiciones óptimas de los entornos de trabajo, evaluando las áreas laborales en las organizaciones mediante herramientas que involucran el estudio del trabajo, la Ergonomía, seguridad e higiene conforme a los estándares nacionales e internacionales aplicables.

- Nombre de la estrategia:

Visualización de video en repositorio virtual (Youtube®) y análisis crítico, para integración de mapa conceptual

- Descripción de la estrategia

La estrategia consta de varias actividades como se indica a continuación:

Los estudiantes forman equipos de trabajo con un mínimo de dos integrantes y un máximo de cuatro estudiantes.

Los estudiantes visualizan el video «Ergonomía en los puestos de trabajo» (<https://www.youtube.com/watch?v=z8mTo03JxjM>), facilitado por el catedrático, para dar respuesta a las interrogantes que serán planteadas por este último, para iniciar el proceso de pensamiento crítico, a través de la reflexión sobre la importancia de la Ergonomía en el desarrollo de la labor de producción.

Los estudiantes discuten las interrogantes planteadas e integran, con ayuda del catedrático, una línea de tiempo mediante documento electrónico para ser presentado frente a grupo por alguno de los integrantes del equipo, fomentándose así las competencias de creatividad, comunicación, liderazgo colaborativo, pensamiento crítico y uso de la tecnología.

- Actividades del docente

Ingresar a la liga (<https://www.youtube.com/watch?v=z8mTo03JxjM>) con el objetivo de recuperar el video «Ergonomía en los puestos de trabajo» publicado por Héctor Alex Parada Rebolledo.

Preparar un cuestionario de cinco preguntas que incluya la temática abordada en el video visualizado.

Aplicar un cuestionario de cinco preguntas que incluya la temática abordada al finalizar la visualización del video.

Prepara una rúbrica de evaluación para calificación del cuestionario planteado.

Prepara una rúbrica de evaluación para calificar la línea de tiempo.

- Actividades del alumno

Visualiza el video «Ergonomía en los puestos de trabajo» publicado por Héctor Alex Parada Rebolledo.

Da respuesta a las interrogantes planteadas por el profesor.

Reflexiona al respecto de la importancia de la Ergonomía para la función de producción.

Integra un mapa conceptual en el cual se organiza cronológicamente los acontecimientos históricos visualizados en el video.

Evaluación de la estrategia de aprendizaje

Cuestionario

El cuestionario se evalúa mediante rúbrica, atendiendo a los siguientes criterios:

1.- La aproximación responde en su totalidad al cuestionamiento planteado, proponiendo una respuesta sólida y aplicada al contexto organizacional o industrial (2 puntos).

2.- La respuesta planteada responde de forma sólida al cuestionamiento planteado y aborda una aproximación somera al contexto industrial u organizacional (1.5 puntos).

3.- La solución al cuestionamiento planteado, responde en su totalidad al planteamiento si aproximar una contextualización al sector industrial u organizacional (1 punto).

4.- La respuesta aportada por el estudiante, da solución somera al planteamiento, sin incluir una contextualización organizacional o industrial (0.5 puntos).

5.- Se omite la respuesta a la interrogante planteada (0 puntos).

Mapa conceptual

El mapa conceptual se evalúa mediante Cuadro de observación en dos áreas principales, la forma y el fondo. Considerando una ponderación propuesta, una ponderación obtenida y un proceso de realimentación.

· En cuanto a la forma se considerará:

A) Limpieza del mapa (Ponderación 1%).

B) Claridad de las líneas y figuras del mapa, el marco de los conceptos utilizados está claramente definido, con línea de más de 2 ppp y colores diversos, delimitado la importancia de los conceptos (Ponderación 1%).

C) Las líneas que unen los conceptos, se encuentran bien definidas y son visibles y apreciables (Ponderación 1%).

D) El mapa conceptual se ha colocado sobre un material firme (p.ej. cartulina), de dimensiones 40 cm x 50 cm, con un desarrollo en formato electrónico (Ponderación 1%).

E) Siendo el caso, se agregan imágenes, sin perder de vista que lo importante es resaltar los conceptos (Ponderación 1%).

F) Es visualmente atractivo (Ponderación 1%).

G) El mapa conceptual cuida la ortografía y gramática (Ponderación 1%).

H) Datos de identificación del alumno visibles (Ponderación 1%).

· En cuando al fondo, se considerarán los siguientes aspectos:

i) Orden en la secuencia y jerarquía de los conceptos. Presenta una jerarquización clara de los conceptos manejados (Ponderación 22%).

ii) El conjunto de conceptos exhiben una idea clara y concisa (Ponderación 30%).

iii) Existe relación entre el concepto principal y los conceptos secundarios y terciarios (Ponderación 40%).

Conclusiones

La función social de la educación y de la universidad es muy importante para el desarrollo de la cultura, políticas, innovación, para la sociedad actual. La universidad es un ente importante para el fomento en la creación de conocimientos, valores y actitudes, mejorando, además, las condiciones económicas, sociales y políticas del país.

En educación superior, el docente centra el proceso de enseñanza aprendizaje en la participación del estudiante a través de la lectura y análisis de artículos científicos de tópicos vinculados al temario de las asignaturas correspondientes, como complemento de las diferentes estrategias para el aprendizaje significativo. Cuando se crean diapositivas de soporte a las temáticas, incluyendo presentaciones en lengua extranjera (inglés), también fortalece el aprendizaje significativo.

La propuesta desarrollada en el presente documento sienta las bases para el abordaje de una didáctica específica que contemple a detalle el uso de estrategias de aprendizaje, evaluaciones, actividades e instrumentos de cotejo o rubricación para la materia de Ergonomía, del programa educativo de Ingeniería Industrial en una universidad del centro-sur del país, con lo cual, en el mediano plazo, permitirá la creación de actividades y proceso de evaluación a lo largo del programa educativo. Con la inclusión de estrategias de aprendizaje vinculadas a cada temática abordada por el programa de asignatura, se favorece el proceso de enseñanza aprendizaje y aporta un marco sólido para la generación de aprendizaje significativo.

Además de la aplicación de estrategias para el aprendizaje significativo, la formación del estudiante también se ve fortalecida mediante la realización de visitas a la industria, en aquellas empresas con las cuales se puede llegar a tener vinculación. Aunado a lo anterior, fomentando la participación del estudiante en cursos disciplinares y de cultura general, este tiene a disposición nuevo conocimiento, con el objetivo de fortalecer su formación y, por ende, aumentar el nivel de exigencia para la práctica docente, fortaleciéndose también el proceso de enseñanza aprendizaje y la generación de aprendizaje significativo para el estudiante.

Referencias

- ALONSO-ARÉVALO, J. 2004. El resumen documental.
- ÁLVAREZ-ARBOLEDA, L. M. 2007. El estudio del aprendizaje desde el modelo asociacionista y el modelo funcionalista: un recorrido histórico, *Informes Psicológicos* 9:121-134.
- AMAR-AMAR, J. 2000. La función social de la educación. *Investigación y Desarrollo* (11):74-85.
- APUD, E. y Meyer, F. 2003. La importancia de la Ergonomía para los profesionales de la salud. *Ciencia y enfermería* 9(1):15-20.
- ARAGÓN-GARCÍA, M. y Jiménez-Galán, Y. I. 2009. Diagnóstico de los estilos de aprendizaje en los estudiantes: Estrategia docente para elevar la calidad educativa. CPU-e, *Revista de Investigación Educativa* 9.
- ARGUDÍN-VÁZQUEZ, Y. 2001. Educación basada en competencias. *Educación: revista de educación/nueva época* 16:1-29.
- BARROWS, H. S. y Tamblyn, R.M. 1980. Problem-Based Learning: An Approach to Medical Education, *Springer Publishing*.
- BARROWS, H. S. 1983. Problem-Based, Self-directed Learning. *JAMA: The Journal of the American Medical Association* 250(22).
- BARROWS, H. S. 1986. A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education* 20(6):481-486.
- BALDWIN, S., Ching, Y. H. and Y. C. Hsu. 2018. Online Course Design in Higher Education: A Review of National and Statewide Evaluation Instruments, *TechTrends* 62:46-57.
- BELTRÁN-LLERA, J. A. 2003. Estrategias de aprendizaje, *Revista de educación* 332:55-73.
- BOZU, Z., y Canto Herrera, P. 2009. El profesorado universitario en la sociedad del conocimiento: competencias profesionales docentes. *Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria* 2(2):87-97.
- CALVO-GUEVARA. 2014. Teorías de aprendizaje: Panorama general.
- CAMARGO-CEA, N. E. 2013. La enseñanza de la Ergonomía en México. *Arcos Design* 7(1):115-137.
- CANTÚ-MARTÍNEZ, P. C. y Rojas-Márquez, J. M. 2018. Estilos de aprendizaje: La experiencia de la Escuela Preparatoria Técnica Médica en la Universidad Autónoma de Nuevo León, México, *Revista Electrónica Educare* 22(2).
- CASIMIRO-PIÑA, G. 2014. Estilos de aprendizaje den alumnos de una escuela preparatoria oficial del municipio del Temascalcingo (Estado de México), Facultad de Ciencias de la Consulta, Universidad Autónoma del Estado de México.
- CASTILLO-ROMERO, J. R. 2012. Capítulo 1: Fundamentos de la sociología de la educación, En: *Sociología de la educación*, ISBN 978-607-733-045-5, Editorial Tercer Milenio S.C.
- COLOMBO-DE-CUDMANI, L., Pesa-de-Danon, M. y Salinas-de-Sandoval, J. 1986. La realimentación en la evaluación en un curso de laboratorio de Física, *Enseñanza de las Ciencias* 4(2):122-128.
- CRUZ NÚÑEZ, F. y Quiñones Urquijo, A. 2012. Importancia de la evaluación y autoevaluación en el rendimiento académico, *Zona Próxima* 16:96-104.
- ERTMER, P.A. y Newby, T.J. 1993. Conductismo, cognitivismo y constructivismo: una comparación de los aspectos críticos desde la perspectiva del diseño de instrucción, *Performance Improvement Quarterly* 6(4):50-72.

- FASTRING, D., Mayfield-Johnson, S., Funchess, T., Green, C., Walker, V., y Powell, G. 2018. Increasing research capacity in underserved communities: formative and summative evaluation of the Mississippi community research fellows training program (cohort 1). *Frontiers in public health* 6(21).
- FIGUEROA-CEPEDA, H. I., Muñoz-Correa, K. E., Vinício-Lozano, E. y Zavala-Urquiza, D. F. 2017. Análisis crítico del conductismo y constructivismo, como teorías de aprendizaje en educación, *Revista Órbita Pedagógica* 4(1):01-12.
- GANEM-ALARCÓN, P. 2014. La relevancia de la escuela en la formación de un nuevo ciudadano, *VIII congreso de la Federación de Escuelas Particulares de Tula Hidalgo, A.C., Retos de la vocación docente en la sociedad contemporánea*.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, F. M. 1992. Los mapas conceptuales de JD Novak como instrumentos para la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias* 10(2):148-158.
- HAMILTON, I.R. 2009. Automating formative and summative feedback for individualized assignments, *Campus-Wide Information Systems* 26(5).
- HOUSSAY, B. A. 1941. Función social de la universidad. *Best Hermanos - Mendoza*.
- LÓPEZ-VÉLEZ y Peláez. 2007. Capítulo 3: Propuestas, En: *Un modelo para la educación en ambientes virtuales, Universidad Pontificia Bolivariana*.
- LORCH JR., R. F. y Lorch, E. P. 1996. Effects of organizational signals on free recall of expository text. *Journal of Educational Psychology* 88(1):38-48.
- LORCH JR., R. F., Puzles-Lorch, E., Ritchey, K., McGovern, L. y Coleman, D. 2001. Effects of Headings on Text Summarization, *Contemporary Educational Psychology* 26(2):171-191.
- LUKA, I. 2018. Summative evaluation of online language learning course efficiency for students studying tourism and hospitality management, *Quality Assurance in Education* 26(4).
- MANENE, L. 2011. Los diagramas de flujo: su definición, objetivo, ventajas, elaboración, fases, reglas y ejemplos de aplicaciones.
- MÁRQUEZ-RODRÍGUEZ, J. 2009. Las líneas de tiempo, *Maestría en Tecnología Educativa, Sistema de Universidad Virtual, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
- MARTÍNEZ-CARAZO, P. C. 2011. El método de estudio de caso Estrategia metodológica de la investigación científica. *Revista Científica Pensamiento y Gestión* 20.
- MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, M.A. 1999. El enfoque sociocultural en el estudio del desarrollo y la educación. *Revista Electrónica de Investigación Educativa* 1(1).
- MEDINA-GÓMEZ, A. 2001. La señalización y el recuerdo de textos expositivos y su organización, Tarbiya, *Revista de Investigación e Innovación Educativa*.
- MIDEPLAN. 2009. Guía para la elaboración de diagramas de flujo, *Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, San José, Costa Rica*.
- MIRAS, M. 1993. Un punto de partida para el aprendizaje de nuevos contenidos: los conocimientos previos, En: *El constructivismo en el aula*. Barcelona: Graó, pp. 47-63.
- MONDELO, P., Gregori, E., y Barrau, P. 1999. Introducción. En *Ergonomía 1 - Fundamentos*, Barcelona, España: Mutua Universal - Ediciones UPC.
- MOLINA-RUIZ, H. D. y Rojano-Chávez, S. M. 2014. La personalización de evaluaciones sumativas para bachillerato en el ámbito de la educación por competencias, *Revista Copei, aprender a aprender innovando* 1(1).
- MOLINA-RUIZ, H. D. Bravo-Vargas, G., Flores-García, V. S. y Ordoñez-Hernández, T. S. 2015. Estudio comparativo de planes y programas para la oferta del programa educativo de Ingeniería en Logística, en una universidad autónoma del centro sur de México, *Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital* 7(2):41-82.
- MOLINA-RUIZ, H. D. y Rojano-Chávez, S. M. 2015. Estrategia de desarrollo socio-emocional en alumnos de bachillerato, para fortalecer la formación del estudiante, en el nuevo paradigma de educación por competencias, *Revista Copei, aprender a aprender innovando* 2(3):155-162.
- OGLE, D. M. 1986. K-W-L: A Teaching Model That Develops Active Reading of Expository Text, *The Reading Teacher* 39(6):564-570.
- OHSSON, J., Han, S. y Bouwman, H. 2017. The prioritization and categorization method (PCM) process evaluation at Ericsson: a case study, *Business Process Management Journal* 23(2).
- OROZCO-JUTORÁN, M. 2006. La evaluación diagnóstica, formativa y sumativa en la enseñanza de la traducción, En: Varela, M.J. (ed.) *La evaluación en los estudios de traducción e interpretación*. Sevilla: Bienza. 47-68, ISBN: 978-84-933962-8-2
- PARKER, R. E. 2013. Evaluation considerations, En: *Cutting-Edge Technologies in Higher Education* 113-141.
- PIMIENTA-PRIO, J. H. 2012. Estrategias de enseñanza-aprendizaje.
- RESTREPO-GÓMEZ, B., Román Maldonado, C. E., Londoño Giraldo, E., Ramírez González, D. A. y Ospina Ospina, A. A. 2013. Evaluación diagnóstica inicial y autoevaluación basada en portafolio en programas de educación superior virtual, *Cuaderno de investigaciones en educación virtual* 15-62.
- RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E., Vargas-Solano, É. M. y Luna-Cortés, J. 2010. Evaluación de la estrategia «aprendizaje basado en proyectos». *Educación y educadores* 13(1):13-25.
- ROSALES-MEJÍA, M. M. 2014. Proceso evaluativo: evaluación sumativa, evaluación formativa y Assessment su impacto en la educación actual. En: *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación (Vol. 4)*, ISBN: 978-84-7666-210-6.
- SÁNCHEZ-GIRALDO, D. C. y Escobar-Hoyos, G. 2015. La evaluación formativa en los escenarios de educación superior, *Revista de Investigaciones UCM* 15(26):204-213.
- SESENTO-GARCÍA, L. 2018. La evaluación diagnóstica y su importancia en la docencia universitaria, *Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo*.
- SIEMENS, G. 2004. Conectivismo: Una teoría de aprendizaje para la era digital.
- SMITH, M. E., y Brandenburg, D. C. 1991. Summative Evaluation. *Performance Improvement Quarterly* 4(2):35-58.
- STEWART, J., van Kirk, J. y Rowell, R. 1979. Concept Maps: A Tool for Use in Biology Teaching, *The American Biology Teacher* 41(3):171-175.
- TARAS, M. 2005. Assessment - summative and formative - some theoretical reflections, *British Journal of Educational Studies* 53(4):466-478.
- UAEH. 2005. Modelo educativo de la UAEH, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
- UAEH. 2010. Reforma Curricular Programa Educativo de Licenciatura en Ingeniería Industrial, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
- UAEH. 2018. Plan de Desarrollo Institucional UAEH, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
- VALENCIA-GUTIÉRREZ, M. C. y López-Méndez, M. R. 2018. Los estilos activo, reflexivo, teórico, pragmático y la competencia, *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa* 5(9).
- ZUMALABE-MAKIRRIAIN, J. M. 2012. La transición del conductismo al cognitivismo, *eduPsykhé* 11(1):89-111. 

Este artículo es citado así:

Molina-Ruiz, H. D., C. García-Lirios, J. Carreón-Guillén, M. García-Munguía, A. Sánchez-Sánchez. 2019. Hacia una didáctica específica para la asignatura de ergonomía en una universidad mexicana. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 13(2):86-98. DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v13i2.522>

Resumen curricular del autor y coautores

HÉCTOR D. MOLINA-RUIZ. Maestro en ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México, funge como profesor de tiempo completo para la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, además de contar con experiencia en puestos de toma de decisiones al interior de las organizaciones productivas en el territorio nacional, cultiva la línea de investigación denominada "Organizaciones inteligentes y sustentables".

CRUZ GARCÍA-LIRIOS. Realizó estudios de doctorado en Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Psicología. Profesor de asignatura en el Instituto Politécnico Nacional, Universidad Autónoma del Estado de México y Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Línea de investigación en "Sistemas Complejos Organizacionales".

JAVIER CARREÓN-GUILLÉN. Doctor en Administración por la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor de Carrera en la Escuela Nacional de Trabajo Social de la UNAM, y adscrito al Sistema Nacional de Investigadores. Línea de investigación: "Gobernanza de los Sistemas Organizacionales".

MÓNICA GARCÍA-MUNGUÍA. Realizó estudios de licenciatura en Computación por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Maestría en Tecnologías de la Información por la Universidad Interamericana para el Desarrollo, Doctorado en Dirección y Gestión de Empresas por el Instituto Tecnológico Latinoamericano. Actualmente funge como profesora de tiempo completo para la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, además de ser la responsable del Centro de Cómputo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo - ESTI y ostentar el puesto de coordinadora de Planeación de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo - ESTI.

ARTURO SÁNCHEZ-SÁNCHEZ. Doctor en Administración por la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Contaduría y Administración. Profesor de Tiempo completo en la Universidad Autónoma de Tlaxcala, adscrito al Sistema Nacional de Investigadores. Línea de investigación en "Sistemas Gerenciales y Violencia Organizacional".

Diseño, modelado y construcción de la dirección de un vehículo tipo SAE mediante análisis vectoriales y geométricos

Design, modeling and construction of the steering of a type SAE vehicle through vector and geometric analysis

MARCO AURELIO MOYA-QUEVEDO¹, FRANCISCO ROSAS-PÉREZ^{1,4}, IGNACIO DE LUNA-ZAMORA¹, RAÚL ARMANDO SALAS-MOTIS¹, ANA GABRIELA FRANCO-DÍAZ² Y GILDARDO ROSAS PÉREZ³

Recibido: Noviembre 8, 2018

Aceptado: Junio 6, 2019

Resumen

El objetivo de este artículo es diseñar la geometría del sistema de dirección de un vehículo SAE (*Society of Automotive Engineers*), para poder determinar el desplazamiento que debe recorrer la cremallera y que las ruedas del vehículo giren en un ángulo previamente establecido. Se utilizan vectores de posición para representar los elementos móviles del sistema de dirección en sus dos diferentes condiciones: sin ángulo de giro y con el ángulo máximo de giro. Los elementos usados para el diseño fueron los brazos de dirección, los tirantes y la cremallera, siendo esta última representada como un vector de desplazamiento en un solo eje. Los elementos restantes fueron representados con vectores de magnitud fija, después se procedió a determinar ecuaciones utilizando un lazo cerrado del mecanismo con base en las condiciones que se establecen (máximo ángulo de giro y geometría de la dirección), finalmente, se calcula el recorrido necesario en la cremallera, con esto se obtiene el diámetro de paso final del piñón.

Palabras clave: SAE, Kingpin, Caster, Geometría Ackermann, sistema de dirección.

Abstract

The objective of this paper is to design the geometry of the steering system of a SAE (*Society of Automotive Engineers*) vehicle to determine the required rack travel so the wheels turn in a previously established angle. Position vectors were used to represent the mobile elements in the steering system in both of its different conditions; without steer angle and with the maximum established steer angle. The elements used in the design were the steering arms, the tie rods and the rack, being this last one represented as a displacement vector in a single axis. The remaining elements were represented as fixed magnitude vectors, then equations were determined using a closed loop of the mechanism based on the established conditions (Maximum turn axis, steering geometry), finally the required rack travel was calculated, with this the final pitch circle of the pinion was obtained.

Keywords: SAE, Kingpin, Caster, Ackermann geometry, steering system.

¹ TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHIHUAHUA, AV. TECNOLÓGICO # 2909, CHIHUAHUA, CHIHUAHUA MÉXICO C.P. 31310, (614) 201-2000

² TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DELICIAS, PASEO TECNOLÓGICO KM. 3.5 Cd. DELICIAS, CHIHUAHUA MÉXICO C.P. 33000 TEL. (639) 474-5093

³ INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY, CAMPUS CHIHUAHUA. AV. H. COLEGIO MILITAR 4700, NOMBRE DE DIOS, CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO C.P. 31300 TEL. (81) 8358 2000

⁴ DIRECCIÓN ELECTRÓNICA DEL AUTOR DE CORRESPONDENCIA: FROSAS@ITCHIHUAHUA.EDU.MX

Introducción

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (*Society of Automotive Engineers, SAE*) es una organización de ingenieros, no lucrativa, conformada por más de 80,000 profesionales de diversas disciplinas de la ingeniería. Esta sociedad establece las normas que actualmente se usan en la industria automotriz, las cuales permiten hacer pruebas, mediciones, mejorar el diseño de los automóviles y sus componentes.

El Proyecto Formula SAE es una competencia de diseño para estudiantes de licenciatura y posgrado. Para los estudiantes, el evento les da la posibilidad de probar sus habilidades de ingeniería y manejo de proyectos, y aplicar los conocimientos teóricos aprendidos en el aula de clases en una competencia desafiante. El objetivo principal de esta es diseñar, modelar cada elemento, construir y competir un vehículo de carreras monoplace recreativo tomando en cuenta el diseño, la manufactura, el costo y el rendimiento.

El Instituto Tecnológico de Chihuahua empieza a participar en la competencia Formula SAE desde 1995, al ser invitado por la SAE debido al desempeño obtenido en la competencia Baja SAE.

En el vehículo Formula SAE, el sistema de dirección debe estar mecánicamente conectado a las ruedas delanteras (*Society of Automotive Engineers, 2016*), por lo que se utiliza el mecanismo piñón cremallera.

Un sistema de dirección con un mecanismo piñón cremallera convierte un desplazamiento lineal a un movimiento angular (*Milliken y Milliken, 1995*). El sistema se compone de la cremallera, conectada a los tirantes y estos a su vez se unen a los brazos de dirección, de esta forma se controla el ángulo de giro (*Gillespie, 1992*). Al establecer los ángulos de giro deseados en las ruedas, se procede a calcular el desplazamiento de la cremallera y, finalmente, a la selección del diámetro del piñón.

Antes de hacer la selección del piñón, deberá analizarse la geometría de los elementos antes mencionados, primeramente, de los brazos de dirección, los cuales giran alrededor del eje de las ruedas y posteriormente, en función de lo analizado en los brazos, se calcula el desplazamiento horizontal de ambos componentes para obtener la distancia que debe recorrer la cremallera y se procede a elaborar un método para realizar la selección del piñón

directamente con base en ese desplazamiento y este podrá ser utilizado para cualquier geometría de la dirección que se haya hecho con posterioridad.

El objetivo de este artículo es diseñar la geometría del sistema de dirección de un vehículo SAE (*Society of Automotive Engineers*), para poder determinar el desplazamiento que debe recorrer la cremallera y que las ruedas del vehículo giren en un ángulo previamente establecido.

Materiales y métodos

Se utilizan vectores de posición para representar cada uno de los elementos móviles del sistema de dirección en sus dos diferentes condiciones. Se emplea un modelo matemático para obtener su posición con base en los ángulos que caracterizan al movimiento de la rueda, seguidamente, se crea un diseño de posición a los tirantes.

A continuación, se describen los diferentes factores que afectan la geometría del sistema de dirección. En la Figura 1 se muestra el prototipo PR15, al cual se le analiza el sistema de dirección para su posterior selección del piñón.

Figura 1. Ensamble parcial del prototipo Formula SAE 2017, nombrado PR15, con el cual se compete en el año 2017 en Lincoln, NE.



El ángulo de giro de las llantas y del volante

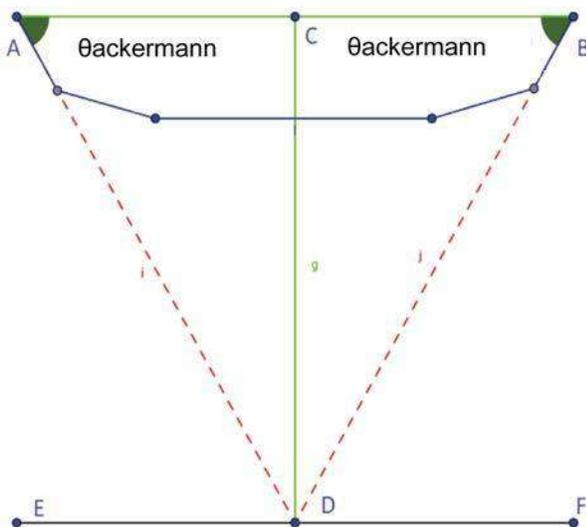
El ángulo de giro de las ruedas es el máximo que estas pueden tener sin que exista una interferencia entre sus elementos, el cual puede variar dependiendo de factores como la geometría de la suspensión y el tipo de llantas utilizadas, entre otros.

El ángulo de giro del volante deberá ser un valor muy cercano a 90° para el caso de los vehículos de carreras, ya que de otra forma podría generar cierta incomodidad al piloto al tomar curvas muy cerradas, o incluso este se podría ver sin la posibilidad de girar más de ese ángulo el volante.

Geometría Ackermann

Este tipo de geometría, a bajas velocidades le proporciona una buena estabilidad al vehículo sin causar mucho arrastre en las ruedas (Milliken y Milliken, 1995). Su principio se basa en que cada llanta debe girar con una pendiente diferente, para esto, los brazos de dirección deben apuntar con una línea imaginaria al centro del eje trasero (Figura 2).

Figura 2. Geometría Ackermann, donde en azul se muestran los elementos de la dirección, en negro los ejes trasero y delantero y en líneas rojas punteadas la distancia entre ejes y las líneas imaginarias a las cuales deben estar alineados los brazos de dirección (Milliken y Milliken, 1995).



Los ejes de giro de las ruedas

Las ruedas del vehículo giran sobre un eje de giro casi vertical, el cual es afectado por dos ángulos de inclinación (Caster y Kingpin) que, de no tenerlos, el eje se posicionaría en el eje vertical.

El ángulo Caster es la inclinación del eje de dirección al ver la rueda en una vista lateral; el ángulo de inclinación Kingpin es la inclinación de este eje, pero observada desde una vista frontal (Milliken y Milliken, 1995). Con la combinación de estos dos ángulos, resulta un eje de giro posicionado no en un plano, sino en el espacio, por lo que requiere un análisis más complejo.

Además, es necesario antes delimitar la distancia que existe entre estos dos ejes (uno para cada rueda del eje delantero), las cuales son predefinidas en el diseño de la suspensión.

Los brazos de dirección

Son los elementos que transforman el movimiento lineal de la cremallera a movimiento angular en las torres, estos brazos hacen girar a la rueda y pasan por el eje de giro de esta. Los brazos de dirección funcionan como palanca y reciben el movimiento transmitido por la cremallera mediante los tirantes. Antes de realizar el análisis, se requiere determinar la longitud que hay entre el centro del eje de giro y el punto de pivoteo de los brazos y los tirantes.

La posición de la cremallera y su longitud

Dependiendo de cada caso, la cremallera tendrá cierta longitud y un desplazamiento en el eje Z y el eje X respecto al eje horizontal en Y que se forma al unir el punto donde los brazos de dirección se unen con el eje delantero.

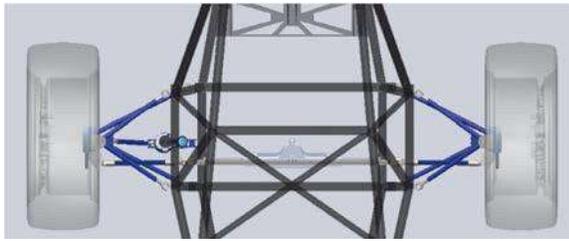
Es necesario conocer el desplazamiento en Z y en X para determinar el desplazamiento que requiere la cremallera.

La longitud de los tirantes

Al establecer la longitud de la cremallera, su desplazamiento en X y Y respecto al eje que se forma entre los ejes de giro de las llantas y la longitud de los brazos de dirección, se procede a determinar la longitud de los tirantes mediante la distancia que hay entre un extremo de la cremallera y el punto de pivoteo de los brazos de dirección.

Para proceder con el análisis del sistema de dirección, el cual es ilustrado en la Figura 3, se procede a representar todo el sistema como vectores de posición.

Figura 3. Vista aérea del vehículo.



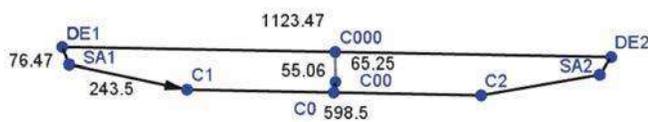
Análisis vectorial del desplazamiento de la cremallera

En esta sección se analiza la geometría de la dirección en su posición con ángulo cero de rotación, se analiza también la posición cuando el ángulo de rotación está en su máximo valor. Para ello se utilizan cierres vectoriales en los cuales cada vector representa algún elemento y muestran su respectivo comportamiento. En la Figura 4 se muestra el ensamble del sistema de dirección con todos sus componentes, y en la Figura 5 se muestra su representación como un esquema.

Figura 4. Ensamble del sistema de dirección.



Figura 5. Representación esquemática de la dirección.

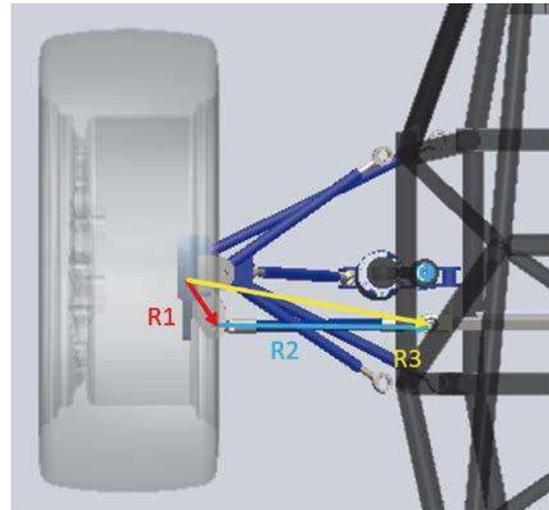


En el caso cuando el ángulo de giro es igual a cero ($\delta_i = 0^\circ$) se tiene el cierre vectorial, en la Figura 6 se observa el cierre vectorial posicionado en el vehículo. En esta condición, la cremallera no presenta ningún desplazamiento axial, como se muestra en la Figura 7.

$$R1 + R2 = R3 \quad \text{Ec. (1)}$$

Cuando la cremallera es desplazada a su punto máximo, el ángulo de giro también será máximo ($\delta_i = \theta_{\max}$), esto puede apreciarse en la Figura 8.

Figura 6. Posicionamiento de los vectores en el ensamble.



$$R1' + R2' = R3' \quad \text{Ec. (2)}$$

Siendo R_3 y R_3' vectores de posición en el espacio, se tienen entonces sus coordenadas rectangulares.

$$R3 (x1, y1, z1) \quad \text{Ec. (3)}$$

$$R3' (x2, y2, z2) \quad \text{Ec. (4)}$$

Indicando los cierres como vectores con coordenadas rectangulares se tiene que:

$$R1 (a1, b1, c1) + R2 (a2, b2, c2) = R3 (X1, Y1, Z1) \quad \text{Ec. (5)}$$

$$R1' (a1', b1', c1') + R2' (a2', b2', c2') = R3' (X2, Y2, Z2) \quad \text{Ec. (6)}$$

Figura 7. Sin ángulo de giro.

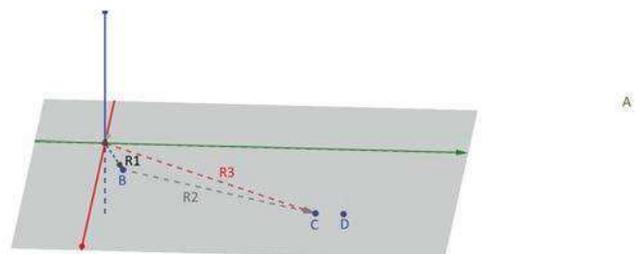
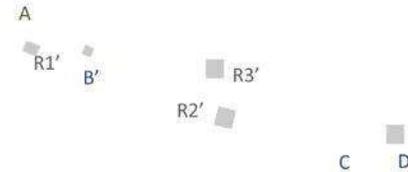
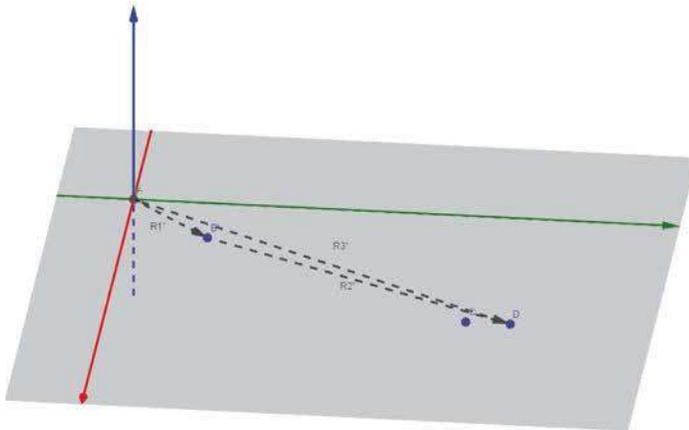


Figura 8. Con ángulo de giro máximo, nótese que hay un desplazamiento axial respecto de la Figura 7.



Agregando un vector de desplazamiento VD de la cremallera, con únicamente componente en Y .

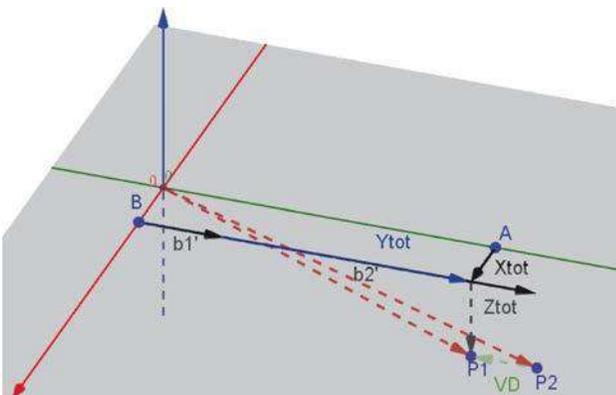
$$VD (0, Dy, 0) \quad \text{Ec. (7)}$$

$$R3 (x1, y1, z1) + VD (0, Dy, 0) = R3' (X2, Y2, Z2) \quad \text{Ec. (8)}$$

$$R3 (x1, y1, z1) + VD (0, Dy, 0) = R3' (X1, Y2 + Dy, Z1) \quad \text{Ec. (9)}$$

Este vector de desplazamiento en el eje Y (VD), como se muestra en la Figura 9, será la distancia que tiene que moverse la cremallera de un punto a otro para que el sistema gire el ángulo máximo establecido.

Figura 9. El vector de desplazamiento en Y (en verde), muestra la diferencia entre los vectores que posicionan a la cremallera (en rojo, línea punteada).



Al descomponer los vectores $R3$ y $R3'$ en sus componentes rectangulares se obtiene lo siguiente:

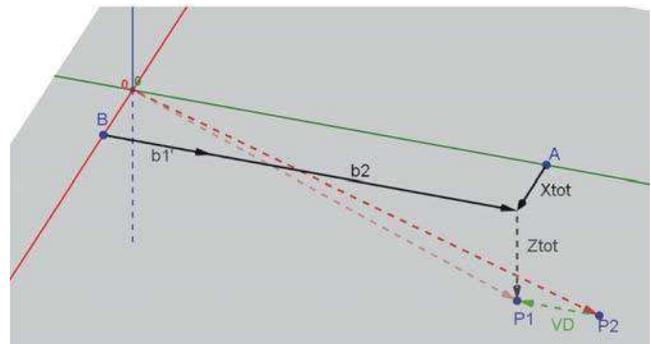
$$X1 = a1 + a2 \quad \text{Ec. (10);} \quad Y1 = b1 + b2 \quad \text{Ec. (11)}$$

$$Z1 = c1 + c2 \quad \text{Ec. (12);} \quad X2 = a1' + a2' \quad \text{Ec. (13)}$$

$$Y2 = b1' + b2' \quad \text{Ec. (14);} \quad Z2 = c1' + c2' \quad \text{Ec. (15)}$$

En la Figura 10, se muestran los componentes rectangulares que conforman a $R3$, mientras que en la Figura 11 se muestran los componentes rectangulares de $R3'$.

Figura 10. Componentes rectangulares de $R3$ (en negro).



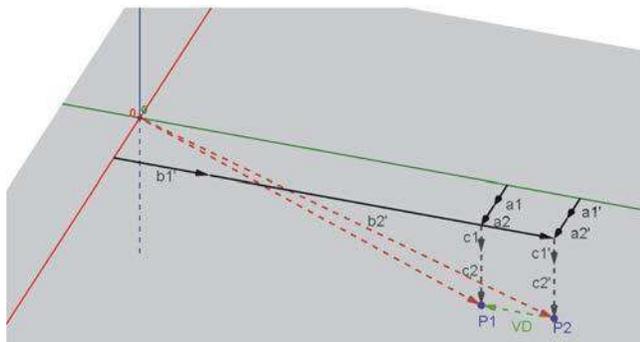
Al comparar $R3$ con $R3'$ por medio de sus componentes rectangulares como se observa en la Figura 11 se puede llegar al siguiente razonamiento:

$$X1 = X2 \quad \text{Ec. (16)}$$

$$Y1 = Y2 + Dy \quad \text{Ec. (17)}$$

$$Z1 = Z2 \quad \text{Ec. (18)}$$

Figura 11. Componentes rectangulares de R3' con una comparación de los componentes en X y Z del vector R3, que muestra que estos son iguales en R3 y R3'.



Sustituyendo X1, Y1 y Z1 se obtiene lo siguiente.

$$a1 + a2 = a1' + a2' = X2 \quad \text{Ec. (19)}$$

$$b1 + b2 + Dy = b1' + b2' = Y2 \quad \text{Ec. (20)}$$

$$c1 + c2 = c1' + c2' = Z2 \quad \text{Ec. (21)}$$

Despejando para obtener el desplazamiento de la cremallera Dy (único componente rectangular de VD), se tiene lo siguiente:

$$b1' + b2' + Dy = b1 + b2 \quad \text{Ec. (22)}$$

$$Dy = b1 + b2 - (b1' + b2') \quad \text{Ec. (23)}$$

$$Dy = (b1 - b1') + (b2 - b2') \quad \text{Ec. (24)}$$

Por lo tanto, el desplazamiento Dy será igual a la suma de las diferencias entre los componentes rectangulares en Y de cada vector R3 y R3', renombrando de esta manera se obtendrá lo siguiente:

$$Dy = \Delta b1 + \Delta b2 \quad \text{Ec. (25)}$$

Donde $\Delta b1$ es la diferencia de posición en Y de los brazos de dirección y $\Delta b2$ es de los tirantes.

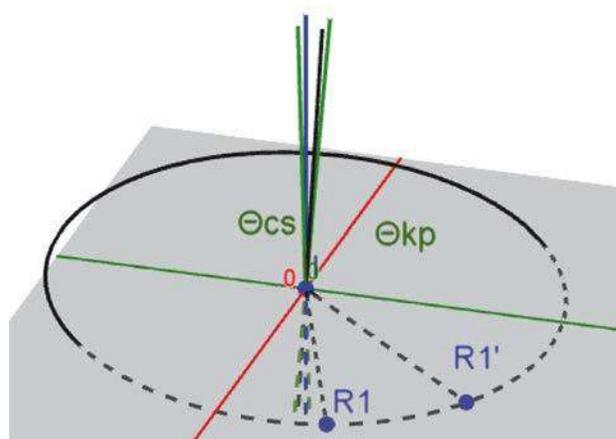
Análisis geométrico de los brazos de dirección

Como el eje de giro de los brazos de dirección está afectado por los ángulos Kingpin y Caster (θ_{kp} y θ_{cs} respectivamente) como se indica en la Figura 12, se procederá a realizar el análisis:

Para encontrar el valor de $\Delta b1$ primero se requiere obtener los vectores de posición de R_1 y R_1' , estos vectores son de una magnitud ya determinada,

la cual corresponde a la distancia entre el eje de giro y el punto de pivoteo de los brazos de dirección con los tirantes. Estos vectores además se posicionan en un plano de giro en el espacio el cual es perpendicular al eje de giro.

Figura 12. Posición del eje de giro de los brazos de dirección, el cual es el mismo que el eje de giro de las ruedas del vehículo.



La posición de la partícula a analizar, para este caso el punto de pivoteo de los brazos de dirección, depende de cinco factores, los cuales son:

- El ángulo Caster
- El ángulo Kingpin
- El radio del círculo, el cual está dado por la magnitud del vector R1
- El ángulo de rotación de la partícula proyectado en el plano XY
- El ángulo de los brazos de dirección debido a la geometría Ackermann

Todos estos son factores se deben determinar previamente, en caso de que faltara alguno de estos datos, no se podría conocer la posición de la partícula.

Para mayor facilidad de cálculos se utilizan coordenadas esféricas para obtener el vector de posición:

$$R1 (r, \theta_{ackermann}, 90^\circ + \alpha1) \quad \text{Ec. (26)}$$

$$R1' (r, \theta_{ackermann} - \delta i, 90^\circ + \alpha2) \quad \text{Ec. (27)}$$

Para conocer el ángulo Ackermann, se debe conocer primero la distancia entre los ejes de giro, ya establecida, y la distancia entre este eje y el eje trasero

del vehículo, como se puede observar en la Figura 2 (distancia C-D).

Por lo tanto, Ackermann se obtiene de la siguiente forma, al emplear la Ecuación 28:

$$\theta_{ackermann} = \tan^{-1} \frac{wheelbase}{Dg} \quad \text{Ec. (28)}$$

Donde wheelbase es la distancia entre los ejes trasero y delantero y Dg es la distancia entre los ejes de giro de las ruedas.

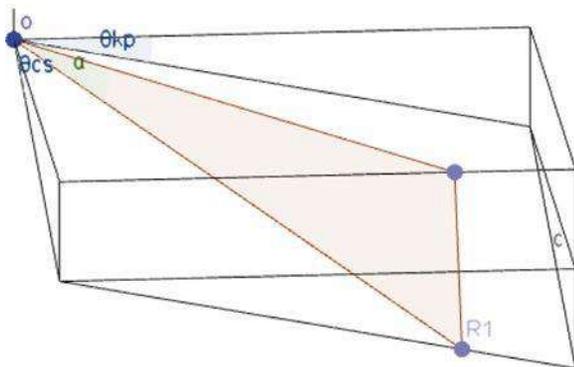
El ángulo α representa el ángulo que hay entre el plano XY y el vector de posición R1, como se muestra en la Figura 14, este ángulo está en función de la resta del ángulo Ackermann ($\theta_{ackermann}$) y el ángulo de rotación de la llanta (δ_i) y también en función de los ángulos de inclinación del eje Kingpin (θ_{kp}) y Caster (θ_{cs}).

Para dejar el ángulo α en función de estos valores se utiliza el siguiente razonamiento:

Siendo θ_1 el ángulo entre la proyección del vector R1 en el plano XY y el eje Y (la suma de $\theta_{ackermann}$ y δ_i), se tienen los siguientes dos casos:

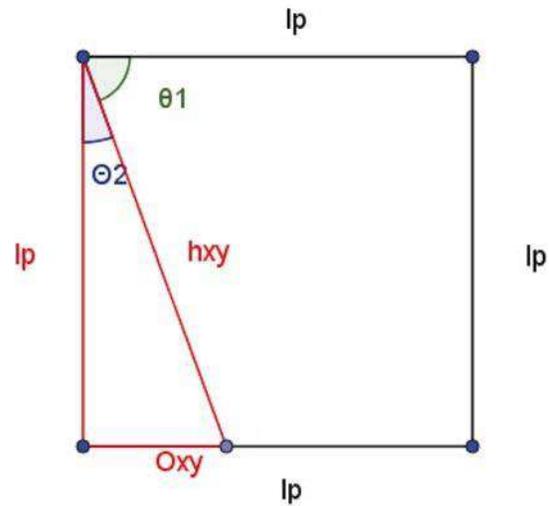
Caso 1: Para θ_1 igual o mayor a 45° , como es mostrado en la Figura 14, se sigue el procedimiento:

Figura 13. Representación del vector R1 en su plano de giro cuando θ_1 es mayor a 45° .



El plano XY de la representación de la Figura 13 es mostrado en la Figura 14, de este se obtiene un triángulo rectángulo para la deducción de la ecuación para obtener α .

Figura 14. Plano XY de la representación del vector R1.

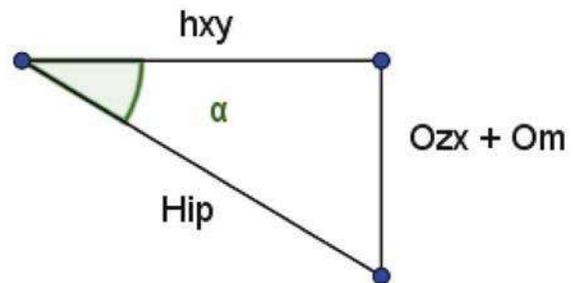


De este se obtiene lo siguiente:

$$\cos \theta_2 = \frac{lp}{hxy} \quad \text{Ec. (29)}$$

El triángulo formado por el vector y su proyección en XY se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Triángulo formado por el vector R1 y la proyección de este vector en el plano XY.

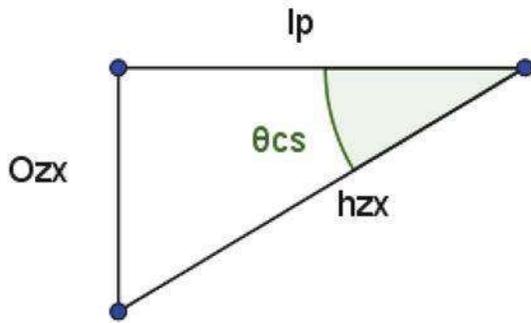


De este triángulo se obtiene lo siguiente:

$$\tan \alpha = \frac{Ozx + Om}{hxy} \quad \text{Ec. (30)}$$

El triángulo proyectado en XZ, mostrado en la Figura 16.

Figura 16. Triángulo proyectado en el plano XZ.

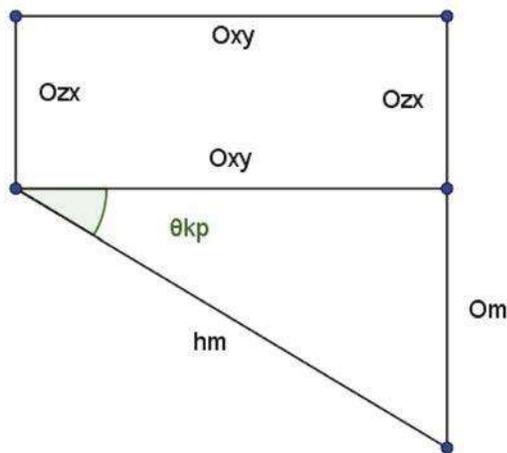


De la Figura 16 se tiene:

$$\tan \theta_{cs} = \frac{O_{zx}}{lp} \quad \text{Ec. (31)}$$

El polígono paralelo a ZY, mostrado en la Figura 17, se compone de un triángulo y un rectángulo.

Figura 17. Polígono paralelo al plano ZY.



Del cual se obtiene lo siguiente:

$$\tan \theta_{kp} = \frac{om}{oxy} \quad \text{Ec. (32)}$$

Sustituyendo todo en la ecuación obtenida triángulo del vector (Figura 15) para obtener α :

$$O_{zx} = lp \tan \theta_{cs} \quad \text{Ec. (33);} \quad Om = O_{xy} \tan \theta_{kp} \quad \text{Ec. (34)}$$

$$O_{xy} = lp \tan \theta_2 \quad \text{Ec. (35);} \quad Om = lp \tan \theta_2 \tan \theta_{kp} \quad \text{Ec. (36)}$$

$$h_{xy} = \frac{lp}{\cos \theta_2} \quad \text{Ec. (37)}$$

$$\tan \alpha = \frac{lp \tan \theta_{cs} + lp \tan \theta_2 \tan \theta_{kp}}{\frac{lp}{\cos \theta_2}} \quad \text{Ec. (38)}$$

$$\tan \alpha = \frac{lp(\tan \theta_{cs} + \tan \theta_2 \tan \theta_{kp})}{\frac{lp}{\cos \theta_2}} \quad \text{Ec. (39)}$$

$$\tan \alpha = \cos \theta_2 (\tan \theta_{cs} + \tan \theta_2 \tan \theta_{kp}) \quad \text{Ec. (40)}$$

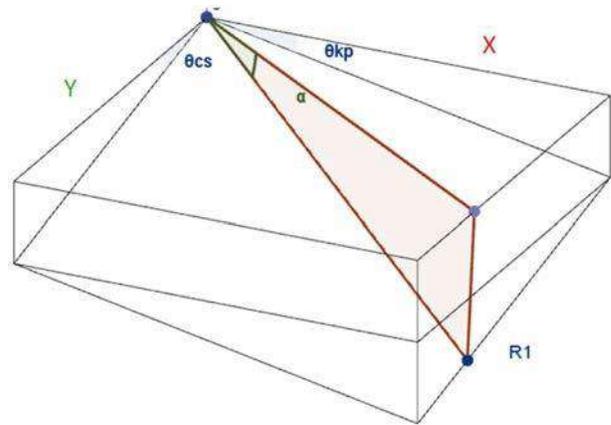
Por lo tanto, el ángulo α cuando θ_1 es mayor o igual a 45° está dado por:

$$\alpha = \tan^{-1} [\cos \theta_2 (\tan \theta_{cs} + \tan \theta_2 \tan \theta_{kp})] \quad \text{Ec. (41)}$$

Caso 2: Para q_1 menor o igual a 45° se seguirá el siguiente procedimiento:

En la Figura 18 se muestra la posición del vector R1 cuando el ángulo θ_1 es menor a 45° .

Figura 18. Representación del vector R1 en su plano de giro cuando q_1 es menor a 45° .



En el plano XY (ver Figura 19), al igual que el procedimiento anterior se obtendrá la función coseno, sin embargo, en este procedimiento se trabaja con θ_1 .

De este se obtiene lo siguiente:

$$\cos \theta_1 = \frac{lp^3}{h_{xy}} \quad \text{Ec. (42)}$$

El triángulo formado por el vector y su proyección en XY se representa en la Figura 20.

Figura 19. Plano XY del vector R1.

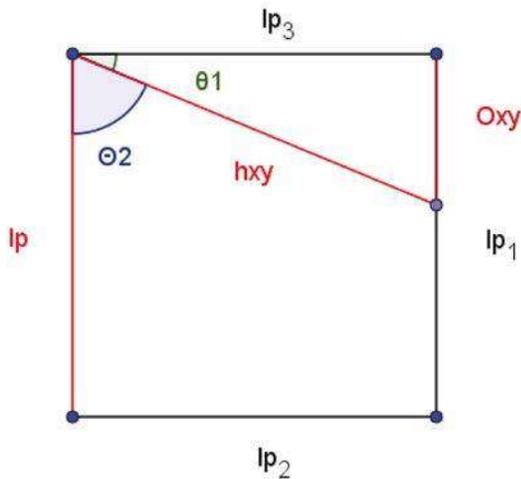
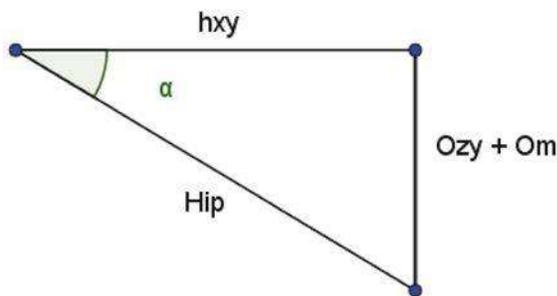


Figura 20. Triángulo formado por el vector R1 y su proyección en el plano XY.

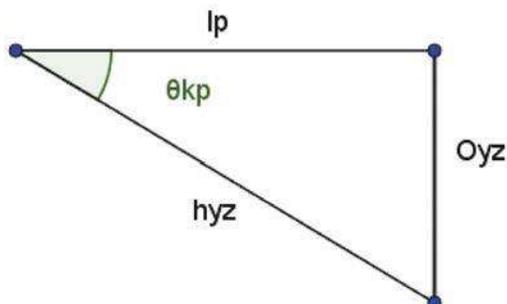


De este se despeja:

$$\alpha = \frac{Ozy + Om}{hxy} \quad \text{Ec. (43)}$$

El triángulo proyectado en ZY (Figura 21) se utiliza en lugar del proyecto en XZ como fue utilizado en el procedimiento anterior.

Figura 21. Triángulo proyectado en ZY.

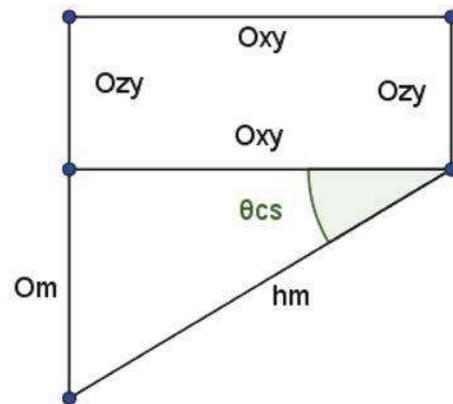


De la Figura 21 se tiene:

$$\tan \theta_{kp} = \frac{Ozy}{lp} \quad \text{Ec. (44)}$$

El polígono paralelo a ZX (Figura 22) se utiliza en lugar del polígono paralelo a ZY.

Figura 22. Polígono paralelo a ZX.



Del cual se obtiene:

$$\tan \theta_{cs} = \frac{Om}{Oxy} \quad \text{Ec. (45)}$$

Sustituyendo todo en la ecuación obtenida del triángulo del vector R1 para obtener α :

$$Ozy = lp \tan \theta_{kp} \quad \text{Ec. (46);} \quad Om = Oxy \tan \theta_{cs} \quad \text{Ec. (47)}$$

$$Oxy = lp \tan \theta_1 \quad \text{Ec. (48);} \quad Om = lp \tan \theta_1 \tan \theta_{cs} \quad \text{Ec. (49)}$$

$$hxy = \frac{lp}{\cos \theta_1} \quad \text{Ec. (50)}$$

$$\tan \alpha = \frac{lp \tan \theta_{kp} + lp \tan \theta_1 \tan \theta_{cs}}{\frac{lp}{\cos \theta_1}} \quad \text{Ec. (51)}$$

$$\tan \alpha = \frac{lp(\tan \theta_{kp} + \tan \theta_1 \tan \theta_{cs})}{\frac{lp}{\cos \theta_1}} \quad \text{Ec. (52)}$$

$$\tan \alpha = \cos \theta_1 (\tan \theta_{kp} + \tan \theta_1 \tan \theta_{cs}) \quad \text{Ec. (53)}$$

Por lo tanto, el ángulo α para θ_1 menor o igual a 45° está dado por:

$$\alpha = \tan^{-1} [\cos \theta_1 (\tan \theta_{kp} + \tan \theta_1 \tan \theta_{cs})] \quad \text{Ec. (54)}$$

Las ecuaciones anteriores donde se encontró el valor de α , para ambos casos se utilizan directamente para obtener los ángulos α_1 y α_2 , dependiendo de la geometría se utiliza una ecuación o la otra, la del vector R_1 o la del vector R_1' en coordenadas esféricas, respectivamente.

Una vez ya conocidos todos los valores para obtener los vectores de posición R_1 y R_1' en sus coordenadas esféricas, se procede a convertirlos a coordenadas rectangulares aplicando las fórmulas de conversión (Larson y Edwards, 2010).

$$x = \rho \sin \varphi \cos \theta \quad \text{Ec. (55);} \quad y = \rho \sin \varphi \sin \theta \quad \text{Ec. (56)}$$

$$z = \rho \cos \theta \quad \text{Ec. (57)}$$

Hecho esto, se procede a obtener Δb_1 el cual está dado por:

$$\Delta b_1 = b_1 - b_1' \quad \text{Ec. (58)}$$

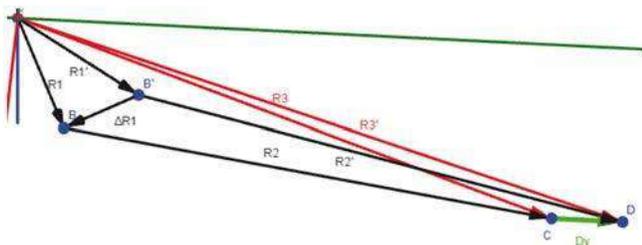
Análisis geométrico de los tirantes

Ya encontrados los vectores de posición de R_1 y R_1' , se procede a encontrar ahora los valores de R_2 y R_2' que mediante estos se puede conocer Δb_2 .

Para encontrar R_2 y R_2' se realiza el siguiente análisis:

Analizando los vectores en las dos distintas posiciones de la cremallera se tiene el esquema mostrado en la Figura 23

Figura 23. Análisis de posición de los vectores del sistema de dirección.

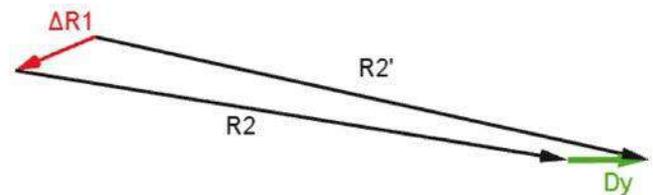


Como los vectores de posición R_1 y R_1' ya son valores conocidos, entonces se pueden representar estos como un vector de diferencia, lo cual se ve en la Ecuación 59.

$$R_1 - R_1' = \Delta R_1 \quad \text{Ec. (59)}$$

Por lo tanto, se puede simplificar el cierre vectorial eliminando los vectores que ya no son útiles para el análisis, como se muestra en la Figura 24, en este análisis solo se ha dejado ΔR_1 , R_2 , R_2' y Dy .

Figura 24. Análisis simplificado de los vectores del sistema de dirección para encontrar R_2 y R_2'



Del análisis vectorial simplificado se conoce lo siguiente:

$$||R_2|| = ||R_2'|| \quad \text{Ec. (60);} \quad \Delta R_1 + R_2 + Dy = R_2' \quad \text{Ec. (61)}$$

El vector R_2 al ya tener R_1 , podrá conocerse siguiendo:

$$R_2 (a_2, b_2, c_2) = R_3(X_1, Y_1, Z_1) - R_1 (a_1, b_1, c_1) \quad \text{Ec. (62)}$$

Para encontrar los componentes rectangulares de R_3 se utilizan los desfases de la cremallera en los ejes X, Y y Z.

$$X_1 = Dcx \quad \text{Ec. (63);} \quad Y_1 = \frac{Dg+Lc}{2} \quad \text{Ec. (64);} \quad Z_1 = Dcz \quad \text{Ec. (65)}$$

Donde Dcx es el desfase de la cremallera respecto al eje que se encuentra entre los ejes de giro de las llantas, Dg es la longitud de este eje y Dcz es el desfase en Z.

Los vectores R_2 y ΔR_1 son ahora conocidos, por lo tanto, descomponiendo en sus componentes rectangulares se tiene la siguiente información:

$$\Delta R_1 (\Delta a_1, \Delta b_1, \Delta c_1) \quad \text{Ec. (66);} \quad R_2 (a_2, b_2, c_2) \quad \text{Ec. (67)}$$

$$R_2' (a_2', b_2', c_2') \quad \text{Ec. (68);} \quad Dy (0, Dy, 0) \quad \text{Ec. (69)}$$

De lo que se obtiene:

$$\Delta a1 + a2 = a2' \quad \text{Ec. (70)}$$

$$\Delta b1 + b2 + Dy = b2' \quad \text{Ec. (71)}$$

$$\Delta c1 + c2 = c2' \quad \text{Ec. (72)}$$

$$\sqrt{(a2)^2 + (b2)^2 + (c2)^2} = \sqrt{(a2')^2 + (b2')^2 + (c2')^2} \quad \text{Ec. (73)}$$

$$b2' = \sqrt{(a2)^2 + (b2)^2 + (c2)^2 - (a2')^2 - (c2')^2} \quad \text{Ec. (74)}$$

Conocidos los valores de b2 y b2', se obtiene el valor de Δb2, el cual está dado por:

$$\Delta b2 = b2 - b2' \quad \text{Ec. (75)}$$

Cálculo del número de dientes del piñón

Para obtener el número de dientes del piñón, se toman en cuenta las siguientes ecuaciones: (Budynas y Nisbett, 2008).

$$S = \frac{dp}{2} * \theta_{sw} \quad \text{Ec. (76);} \quad dp = 2 \frac{S}{\theta_{sw}} \quad \text{Ec. (77)}$$

$$m = \frac{dp}{N} \quad \text{Ec. (78);} \quad N = \frac{dp}{m} \quad \text{Ec. (79)}$$

Donde:

S = desplazamiento de la cremallera

dp = diámetro de paso del piñón

θsw = giro del volante seleccionado

m = módulo del engrane

Resultados y discusión

Se logra calcular el recorrido de la cremallera analizando los componentes como vectores y, tomando en cuenta que el mecanismo se encuentra en un espacio tridimensional, también fue utilizada la geometría de los ejes de giro para obtener un resultado más preciso, los ángulos Caster y Kingpin hacen más extenso el análisis.

Para el caso del sistema de dirección del vehículo Formula SAE PR15, se tienen los siguientes datos:

$$\text{Caster } \theta_{cs} = 4.89^\circ$$

$$\text{Kingpin } \theta_{kp} = 5^\circ$$

$$\delta i = 34^\circ$$

$$r = 76.47\text{mm}$$

$$Dcx = -16.26\text{mm}$$

$$Dcz = -56.85\text{mm}$$

$$Dg = 1123.47\text{mm}$$

$$Lc = 598.5$$

$$\text{wheelbase} = 1524$$

$$||R2|| = ||R2'|| = 243.5$$

Para los datos anteriores $\theta_{ackermann} = 69.78^\circ$

Obteniendo α1:

$$\theta1 \geq 45^\circ$$

$$\theta2 = 20.22^\circ$$

$$\alpha1 = \tan^{-1} [\cos 20.22^\circ (\tan 4.89^\circ + \tan 20.22^\circ \tan 5^\circ)]$$

$$\alpha1 = 6.3067^\circ$$

Obteniendo α2:

$$\theta1 \leq 45^\circ$$

$$\theta1 = 35.78$$

$$\alpha2 = \tan^{-1} [\cos 35.78^\circ (\tan 5^\circ + \tan 35.78^\circ \tan 4.89^\circ)]$$

$$\alpha2 = 6.899^\circ$$

Obteniendo los vectores de posición en coordenadas esféricas:

$$R1 (76.47, 69.78^\circ, 96.3067^\circ)$$

$$R1' (76.47, 35.78^\circ, 96.899^\circ)$$

Convirtiendo a coordenadas rectangulares:

$$R1 (71.3232, 26.2701, -8.3994)$$

$$R1' (44.3863, 61.5885, -9.1855)$$

Por lo tanto:

$$\Delta b1 = 26.2701 - 61.5885 = -35.3184$$

$$\Delta R1 (26.9368, -35.3184, 0.7861)$$

$$R2 (-16.26, 236.21, -56.85)$$

Para obtener R2'

$$26.9368 + (-16.26) = a2' = 10.6768$$

$$0.7861 + (-56.85) = c2' = -56.0639$$

$$b2' = ((-16.26)^2 + (236.21)^2 + (-56.85)^2 - (10.6768)^2 - (-56.0639)^2)^{1/2} = 236.716$$

$$\text{Por lo tanto: } \Delta b2 = 236.21 - 236.716 = -0.506$$

Obteniendo el desplazamiento de la cremallera

$$\Delta b1 + \Delta b2 = -35.3184 + (-0.506) = -35.8244$$

$$\text{Desplazamiento de la cremallera} = \mathbf{35.8244}$$

$N = \text{numero de dientes del engrane}$

Si se tienen los siguientes datos:

$$m = 1.5$$

$$s = 35.8244 \text{ mm}$$

$$\theta_{sw} = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$$

Aplicando el procedimiento para calcular N

$$dp = 2 * 35.8244 * \frac{2}{\pi} = 45.613$$

$$N = \frac{45.613}{1.5} = 30.4087; N \approx \mathbf{31 \text{ dientes}}$$

El número de dientes del piñón siempre se tendrá que redondear, por lo que es posible que si se desprecian dichos ángulos se llegue a un resultado igual. No obstante, en análisis similares podrán ser utilizados para realizar otros cálculos en el vehículo, como la medida de la desalineación de las llantas al actuar la suspensión, también conocido como *roll steer*.

Redondeando N, el giro del volante cambia a:

$$dp = 1.5 * 31 = 46.5 \text{ mm}$$

$$\theta_{sw} = 2 * \frac{35.8244}{46.5} = 1.54083 = 88.2833^\circ$$

Conclusiones

El procedimiento al que se llegó para calcular el desplazamiento de la cremallera permite, de manera rápida, realizar iteraciones al diseñar el sistema de dirección con este tipo de análisis vectorial. En este procedimiento se concluyó que el desplazamiento de la cremallera equivale a: $\Delta b1 + \Delta b2 = Dy$

Lo cual es la sumatoria de la diferencia entre los vectores de posición inicial y final de los brazos de dirección y de los tirantes. Se pueden realizar pruebas para diferentes diseños de geometrías en el sistema simplemente con cambiar los datos a los cuales está sujeto el procedimiento descrito en este artículo. El procedimiento para obtener $\Delta b1$, podría simplificarse, utilizando un modelo matemático de la trayectoria en lugar del análisis realizado para la obtención del ángulo α .

Todo este procedimiento está diseñado para que pudiera ser ingresado en un software matemático en caso de que se quiera hacer más realizar con mayor rapidez y por consecuencia más eficiente el proceso de iterar en la geometría de la dirección, en este software únicamente se introducirían las constantes que son Dcx , Dcy , Dg , Lc , ángulo Caster, ángulo Kingpin, σ , r , *wheelbase*, ángulo Ackermann y R2.

Literatura citada

- Budynas, R. G. y J. K. Nisbett. 2008. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 8va ed. Distrito Federal, México: Mc Graw Hill. 656 p.
- Formula SAE Series. About Society of Automotive Engineers (n.d). Obtenida el 26 de septiembre de 2017, de la página electrónica: <http://students.sae.org/cds/formulaseries/about/>
- Gillespie, T. D. 1992. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. 1era ed. Warrendale, PA, Estados Unidos. Society of Automotive Engineers, Inc. 276 p.
- Larson, R. y B. H. Edwards. 2010. *Cálculo 2 de varias variables*. 9na ed. Distrito Federal, México: Mc Graw Hill. 825 p.
- Milliken, W. F. and D. L. Milliken. 1995. *Race Car Vehicle Dynamics*. 1era ed. Warrendale, PA, Estados Unidos. Society of Automotive Engineers, Inc. 710-716 p.
- Society of Automotive Engineers. 2016. 2017-2018 Formula SAE Rules (9.2.16a.). Warrendale, PA, Estados Unidos: Society of Automotive Engineers, Inc. 

Este artículo es citado así:

Moya-Quevedo, M. A., F. Rosas-Pérez, I. De Luna-Zamora, R. A. Salas-Motis, A. G. Franco-Díaz y G. Rosas Pérez. 2019. Diseño, modelado y construcción de la dirección de un vehículo tipo SAE mediante análisis vectoriales y geométricos. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 13(2):99-111. DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v13i2.523>

Resumen curricular del autor y coautores

MARCO AURELIO MOYA QUEVEDO. Inició sus estudios en la carrera de Ingeniería Electromecánica en 2014, es miembro estudiantil de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE). Ingresó al club SAE del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Chihuahua en el año 2016, donde fue líder del área de dirección del prototipo automotriz Formula SAE #17. En el 2017 dirige las áreas de suspensión y dirección de Formula SAE. En el 2018 ingresó a los proyectos Baja y Formula SAE fungiendo como líder de Suspensión en Baja SAE y dirección y suspensión en Formula SAE, donde se obtiene un primer lugar en la categoría de costo del prototipo. Terminó sus residencias profesionales en el año 2019 en la empresa de automatización Valmak donde es contratado como diseñador mecánico.

FRANCISCO ROSAS PÉREZ. Terminó sus estudios de Ingeniería en 2001, obteniendo el título de Ingeniero Mecánico Industrial por el Instituto Tecnológico de Chihuahua (ITCH). En 2007 realizó su posgrado en el Instituto Tecnológico de estudios superiores de Monterrey, donde obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería en Sistemas de Calidad y Productividad. Desde el 2011 labora en el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Chihuahua y posee la categoría de Académico titular C. Es profesor con Perfil deseable acreditado por la Subsecretaría de Educación Superior, desde agosto de 2018. Desde el año 2017 es jefe del proyecto de Investigación "Baja SAE" en el Tec NM/ ITCH. Su área de especialización es la Hidráulica y la Neumática. Ha dirigido la construcción de 6 prototipos de vehículos todo terreno Baja-SAE participando en competencias Internacionales Universitarias desde el año 2012 a la fecha, todas ellas llevadas a cabo en Estados Unidos. Ha participado en dos proyectos de Investigación financiados por el Tecnológico Nacional de México.

IGNACIO DE LUNA ZAMORA. Terminó su licenciatura en 1992, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Electromecánico en el Instituto Tecnológico de Delicias. Realizó su posgrado en Chihuahua, donde obtuvo el grado de Maestro en Dirección y Gestión Empresarial en la Universidad Vizcaya de Las Américas. Desde febrero del año 2000 labora en el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Chihuahua como Docente y posee la categoría de Profesor titular C. Es Profesor con Perfil Deseable acreditado por la Subsecretaría de Educación Superior, desde agosto del 2018. Desde el año 2017 es Jefe del Proyecto de Investigación Formula SAE en el TecNM/ITCH. Su área de especialización es en el campo de HVAC y Máquinas Hidráulicas. Ha dirigido la construcción de 4 prototipos de vehículos tipo Formula SAE participando en competencias internacionales universitarias desde el año 2015 a la fecha, todas ellas llevadas a cabo en Estados Unidos. Ha participado en 2 proyectos de investigación financiados por el Tecnológico Nacional de México.

RAÚL ARMANDO SALAS MOTIS. Terminó sus estudios de ingeniería en 1992, obteniendo el título de Ingeniero Mecánico Industrial por el Instituto Tecnológico de Chihuahua (ITCH). Realizó su posgrado en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), donde obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería en Sistemas de Calidad y Productividad en el 2008. Desde el 2009 labora en el Instituto Tecnológico de Chihuahua como Profesor de Tiempo Completo. En el 2018 obtiene el reconocimiento como Perfil Deseable por la Subsecretaría de Educación Superior, y se desempeña como Jefe de Proceso de Acreditación de Ingeniería Electromecánica ante CACEI. Actualmente se desempeña como Jefe de Laboratorio de Manufactura y como docente en la cátedra de Mecanizado por Control Numérico en el Tecnológico Nacional de México.

ANA GABRIELA FRANCO DÍAZ. Terminó su licenciatura en 1991 obteniendo con mención honorífica el título de Contador Público por la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en la UACH obteniendo el grado de Maestro en Administración en 2007. Su experiencia docente en el Instituto Tecnológico de Delicias impartiendo materias del área de Ciencias Económico Administrativas desde 2009 a la fecha contando con una plaza de 19 hrs. Asesor de residencias profesionales dentro del propio ITD. Dentro del sector privado ocupó puestos gerenciales en el área Financiera y Administrativa. En el año 2001 participó como auditor interno en Bristol Myers Squibb corporativo de la comunidad europea en Chester Inglaterra. Tiene experiencia en el sector público Como Directora del DIF municipal en Cd. Delicias, Chih., en el período comprendido entre 2004-2008. Dentro del mismo municipio como Oficial Mayor durante 2008-2010.

GILDARDO ROSAS PÉREZ. Terminó sus estudios de Ingeniería en 2004, obteniendo el título de Ingeniero Mecánico Industrial por el Instituto Tecnológico de Chihuahua (ITCH). Realizó su posgrado en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, donde obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería en Sistemas de calidad y productividad. Desde el 2004 labora en el mismo Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey desempeñándose en diferentes puestos, del 2005 al 2007 como ejecutivo del departamento de escolar, del 2007 al 2009 como director de preparatoria de la Universidad TecMilenio Campus Cuauhtémoc, del 2009 al 2012 como director académico en la universidad TecMilenio Campus Juárez, del 2012 al 2014 Director de carrera de Ingeniería Industrial y de sistemas en el Instituto Tecnológico y de estudios Superiores de Monterrey campus Aguascalientes, del 2014 a la fecha se desempeña como Director de carrera Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico y de estudios Superiores de Monterrey Campus Chihuahua.

Comparación de la eficiencia de transformación entre diferentes cepas de *E. coli*

Comparison of transformation efficiency in different *E. coli* strains

SAMANTHA YOLOTZIN GARCÍA-CÁRDENAS^{1,2}, DANIELA GRISSEL RUVALCABA-HIDROGO^{1,2}, CARMEN CAROLINA ALVARADO-GONZÁLEZ^{1,2}, MARÍA GEORGINA GÓMEZ-FIERRO^{1,2}, ÓSCAR ENRIQUE JUÁREZ-ACOSTA^{1,2}, MAYELA ROSARIO ESPINOZA-DUARTE^{1,2}, GERARDO PÁVEL ESPINO-SOLÍS^{1,2,3}

Recibido: Diciembre 18, 2018

Aceptado: Mayo 23, 2019

Resumen

La transformación es la introducción y expresión de ADN exógeno por células bacterianas. La eficiencia de la transformación puede medirse en unidades formadoras de colonia/ml (UFC/ml) y es susceptible al método utilizado, a la cepa bacteriana utilizada para la expresión y al propio vector. En este trabajo se busca evaluar las diferencias en la eficiencia de transformación de dos plásmidos de expresión (pExp-Lib y pSF-CMV-Ub-puro-SV40 Ori SbfI), en cuatro cepas diferentes de *E. coli* (DH5 α , BL21, XL1-Blue y TG1) utilizando un método de preparación de células competentes basado en el uso de MgCl₂/CaCl₂. En todas las cepas utilizadas, el crecimiento bacteriano y la eficiencia de transformación fueron mayores para las cepas con el vector pExp, a excepción de BL21, donde la eficiencia fue más elevada para el vector pSF.

Palabras clave: *E. coli*, transformación, choque térmico, método MgCl₂/CaCl₂.

Abstract

Transformation is the introduction and expression of exogenous DNA by bacterial cells. Transformation efficiency can be measured in colony forming units/ml (CFU/ml) and is susceptible to the method used, the bacterial strain used for expression and the vector itself. In this work we seek to evaluate the differences in the transformation efficiency of two expression plasmids (pExp-Lib and pSF-CMV-Ub-puro-SV40 Ori SbfI), in four different *E. coli* strains (DH5 α , BL21, XL1-Blue and TG1) using a competent cell preparation method based on the use of MgCl₂/CaCl₂. In all strains used, bacterial growth and transformation efficiency were higher for strains with the pExp vector, with the exception of BL21, where efficiency was higher for the pSF vector.

Keywords: *E. coli*, transformation, thermal shock, MgCl₂/CaCl₂ method.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. FACULTAD DE MEDICINA Y CIENCIAS BIOMÉDICAS. LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN TRASLACIONAL. CIRCUITO UNIVERSITARIO 31109, CAMPUS II UACH, CHIHUAHUA, CHIH. TEL. (614) 461-8314.

² UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. FACULTAD DE MEDICINA Y CIENCIAS BIOMÉDICAS. LABORATORIO NACIONAL DE CITOMETRÍA DE FLUJO, SEDE CHIHUAHUA. CIRCUITO UNIVERSITARIO 31109, CAMPUS II UACH, CHIHUAHUA, CHIH. TEL. (614) 461-8314.

³ DIRECCIÓN ELECTRÓNICA DEL AUTOR DE CORRESPONDENCIA: GESPINOS@UACH.MX



Introducción

La bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*) fue descrita y aislada por primera vez en 1884 por el microbiólogo y pediatra alemán Theodor Escherich, él la llamó como *Bacterium coli commune* debido a los estudios que realizaba con microorganismos en el intestino de niños y su papel en la digestión (Blount, 2015).

En el siglo XX, en los inicios de los años 40, esta bacteria comienza a ser empleada como modelo experimental (Judson, 1996). En el presente, es posible encontrar entre 10,000-18,000 cepas de *E. coli* de acuerdo al The *Escherichia Coli* Genetic Stock Center (<http://cgsc2.biology.yale.edu>) y *American Type Culture Collection* (www.atcc.org).

La facilidad y económico que resulta trabajar con esta bacteria, además de su versatilidad, han hecho de ella un modelo experimental ampliamente usado alrededor del mundo por diferentes empresas biotecnológicas y grupos de investigación. Se estima que en el año 2011 este modelo bacteriano aportó a la economía global \$ 500 mil millones de dólares (Bruschi *et al.*, 2011; Huang *et al.*, 2012; Baeshen *et al.*, 2015).

En genética, la transformación se define como la introducción y expresión de ADN exógeno, natural o diseñado genéticamente, por células bacterianas (Chen y Dubnau, 2004; Roychoudhury *et al.*, 2009). Las células bacterianas que tienen la capacidad de introducir y expresar ADN exógeno se conocen como células competentes (Roychoudhury *et al.*, 2009; Blount, 2015; Kostylev *et al.*, 2015). La transformación puede llevarse a cabo de manera natural o por medios artificiales en bacterias. La transformación natural se da gracias a la presencia de proteínas en la superficie exterior de las bacterias que pueden unirse al ADN y transportarlo al interior de la célula. Este fenómeno se da en diversos géneros de bacterias, como *Micrococcus*, *Haemophilus*, *Bacillus* y *Streptococcus* (Roychoudhury *et al.*, 2009; Blount, 2015; Kostylev *et al.*, 2015). Sin embargo, ese tipo de transformación raramente ocurre en la mayoría de las bacterias, requiriendo de su inducción por métodos artificiales (Chen y Dubnau, 2004; Yoshida y Sato, 2009; Chan *et al.*, 2013).

Uno de los métodos más utilizado y económico de preparación de células competentes de *E. coli* es con cloruro de calcio (CaCl_2) y transformación por choque térmico, reportado por Mendel y Higa en 1970 (Mandel y Higa, 1970). El proceso de transformación genética consta de cuatro etapas: desarrollo de un estado de competencia en la célula, unión de la molécula de ADN a la superficie celular, su entrada y procesamiento y, finalmente, la expresión fenotípica del nuevo genotipo resultante (Hanahan, 1983; Blount, 2015). El mecanismo exacto por el cual el cloruro de calcio media el proceso de transformación artificial sigue siendo una incógnita. Resultados previos sugieren que el calcio facilita la adsorción del ADN sobre la superficie celular y el choque térmico permite la entrada del ADN adsorbido al citoplasma de la célula (Sinha y Redfield, 2012; Choi *et al.*, 2013; Rahimzadeh *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2018).

La bacteria *E. coli* tiene características muy atractivas, como un crecimiento acelerado, la transformación rápida de ADN exógeno y la fácil obtención de cultivos de alta densidad celular (Rosano y Ceccarelli, 2014). Gracias a esta versatilidad, diversos trabajos de investigación con *E. coli* han llevado a muchos avances en una variedad de campos como la biología molecular, fisiología y genética; se puede mencionar la descripción del código genético (Crick *et al.*, 1961), replicación del ADN (Lehman *et al.*, 1958), transcripción (Blount, 2015), y el descubrimiento de las enzimas de restricción (Linn y Arber, 1968; Meselson y Yuan, 1968). En el campo farmacéutico ha permitido la síntesis *in vivo* de proteínas recombinantes terapéuticas como la insulina (tratamiento de diabetes), interleucina 2 (melanoma metastásico), interferón beta humano (esclerosis múltiple), taxol (cáncer), etc. (Kamionka, 2011; Huang *et al.*, 2012; Baeshen *et al.*, 2015). En

aplicaciones de ingeniería genética y biotecnología, en este modelo bacteriano se han desarrollado técnicas y tecnologías de ingeniería genética incluidas la clonación molecular y ADN recombinante (Cohen *et al.*, 1972; Cohen *et al.*, 1973). Esta bacteria ha sido también utilizada para la producción de biocombustibles (Liu y Khosla, 2010; Janssen y Steinbuchel, 2014), y químicos industriales como el fenol (Kim *et al.*, 2014) y etanol (Hildebrand *et al.*, 2013).

La eficiencia de transformación se expresa matemáticamente como el cociente del número total de células bacterianas que expresan el marcador de resistencia a antibiótico, y la cantidad de ADN que fue utilizado en el experimento (Roychoudhury *et al.*, 2009). Esta eficiencia de transformación depende directamente de la cepa bacteriana y plásmido empleados. La cantidad de plásmidos se estima en 78,028 de acuerdo al repositorio de plásmidos Addgene (<https://www.addgene.org>) y las secuencias disponibles depositadas en la base de datos de NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>), es de 10,892 (Brooks *et al.*, 2019), cada uno de ellos con características diferentes como: replicones, promotores, marcadores, sitios de clonación múltiple, entre otras (Rosano y Ceccarelli, 2014). La transformación de *E. coli* con plásmidos por requisito incluye uno o varios genes que proveen resistencia a antibióticos, se dice que un procedimiento de transformación es exitoso cuando aparecen/crecen colonias aisladas en placas con medio selectivo. Uno de los criterios utilizados para evaluar este evento es la eficiencia de transformación (Hanahan, 1983).

La introducción del ADN a la célula bacteriana no es un proceso sencillo, en algunos casos utilizando células competentes comerciales la eficiencia de transformación alcanza entre 10^9 - 10^{10} UFC/ μ g (unidades formadoras de colonias/ μ g de plásmido empleado). Por esta razón, la transformación puede ser considerada como el paso limitante en algunas aplicaciones, como la construcción de librerías de ADN y de expresión de genes (Aachmann y Aune, 2009).

Las cepas de *E. coli* DH5a y XL1-blue, permiten hacer procedimientos de clonación y la selección con el sistema azul/blanco con una interrupción en el gen *lacZ* Δ M15, tienen alta estabilidad en los insertos debido a una mutación en el gen *recA*1 y permiten una alta producción y calidad de ADN por la mutación en *endA*.

Las células competentes XL-1 blue se utilizan para el rescate de fagemido de una sola hebra de ADN y la transformación del ADN metilado (Han *et al.*, 2001; Kostylev *et al.*, 2015). La cepa BL21 (DE3) pLysS permite la expresión de proteínas de alta eficiencia de cualquier gen que esté bajo el control de un promotor T7. La cepa transporta tanto el lisógeno DE3 como el plásmido pLysS, que se expresa de forma constitutiva niveles bajos de lisozima T7, que reduce la expresión basal de genes recombinantes mediante la inhibición de los niveles basales de ARN polimerasa T7. La alta expresión de proteínas se logra mediante la adición de IPTG (Isopropyl β -D-1-thiogalactopyranoside) (Jeong *et al.*, 2015). Las células competentes TG1 son el estándar de oro para el despliegue en fagos de anticuerpos o la creación de bibliotecas de despliegue de fagos de péptidos. Esta cepa se utiliza ampliamente para crear bibliotecas más grandes y hacer métodos de «screening» rápidos (Carmen y Jermutus, 2002; Fryszczyn *et al.*, 2011).

En este trabajo se está evaluando la compatibilidad de dos plásmidos con cuatro diferentes cepas de *E. coli*: el interés en pEXP-Lib (pEXP) reside en la versatilidad que presenta para ser empleado en la construcción de librerías de cADN, por otra parte, permite hacer librerías de expresión en células de mamífero; debido a que contiene un cassette de resistencia puromicina, es posible seleccionar células resistentes a este antibiótico, lo cual se traduce en la obtención líneas celulares estables productoras de la proteína de interés. El plásmido pSF-CMV-Ub-puro-SV40 Ori Sbfl (pSF), contiene el origen de replicación del virus de simio 40 (SV40), lo cual le permite aumentar los niveles de expresión del gen de interés. Este vector también se puede usar para forzar la recombinación en el genoma de células de mamíferos que no expresan el antígeno T grande de SV40 después de la transfección y la selección de puromicina.

El enfoque de nuestro laboratorio es de aplicaciones biotecnológicas y de investigación traslacional, por lo que es de importancia optimizar el procedimiento de transformación y hacerlo más eficiente para impactar en la reducción de costos y tiempo invertido. En este trabajo se analiza la compatibilidad y eficiencia de transformación de dos plásmidos (pExp-Lib y pSF-CMV-Ub-puro-SV40 Ori Sbfl), en cuatro cepas diferentes de *E. coli* (DH5 α ,

BL21, XL1-Blue y TG1) utilizando un método de preparación de células competentes modificado, basado en el uso de $MgCl_2/CaCl_2$, con el racional de aumentar la carga electrostatica en la superficie las bacterias al aumentar la cantidad de iones y de esta manera aumentar la adsorción de ADN exógeno.

Materiales y métodos

Lugar y año del estudio. El presente trabajo se llevó a cabo en el periodo comprendido entre febrero y agosto del año 2018 en el Laboratorio de Investigación Traslacional y Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo, ubicados en la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH).

Preparación de células quimiocompetentes. Se estrilaron las cuatro diferentes cepas bacterianas de *E. coli* (DH5 α , BL21, TG1 y XL1-Blue) en placas Petri con medio LB-agar (BD Ref. 244520) sin antibiótico y se incubaron a 37 °C toda la noche. Se tomó una colonia aislada para inocular 3 ml de medio LB líquido (BD Ref. 244620) sin antibiótico y se incubó a 37 °C durante toda la noche a 100 rpm. Se transfirieron 500 μ l de cada precultivo a matraces con 50 ml de medio LB sin antibiótico y se incubaron con agitación (100 rpm) por 2-3 horas hasta alcanzar una OD₆₀₀ (densidad óptica) de 4.5 - 5.5. Se centrifugaron a 4000 rpm y 4 °C por 15 min y se descartó el sobrenadante. Se disolvió la biomasa bacteriana en 20 ml de disolución con $MgCl_2/CaCl_2$ (80 mM y 50 mM respectivamente) previamente enfriada, y se incubó por 90 min en hielo. Se centrifugó nuevamente bajo las mismas condiciones (a 4000 rpm y 4 °C por 15 min) y se descartó el sobrenadante. Se resuspendieron los pellets en 2 ml de la disolución $MgCl_2/CaCl_2$ (80 mM y 50 mM respectivamente) fría, se adicionaron 2 ml de glicerol, se homogenizaron las células y se prepararon alícuotas de 100 μ l. Finalmente, se almacenaron a - 80 °C.

Una vez que se tuvieron las células quimiocompetentes de todas las cepas, se sometieron a un proceso de transformación con dos diferentes vectores cada una, pExp-Lib (Clontech, #Cat. 635003) y pSF-CMV-Ub-puro-SV40 Ori Sbfl (Oxford Genetics, Código OG136).

Transformación. Se añadieron 1.2613×10^{11} copias de cada vector a 100 μ l de cada cepa de quimiocompetentes y se colocaron en hielo por 30

min, después, en baño maría a 42 °C por 1 min, y nuevamente en hielo por 2 min. Se añadieron 250 μ l de medio SOC (*Super Optimal broth with Catabolite repression*), en zona estéril, y se incubó con agitación (100 rpm, 37 °C) por una hora. Se sembraron 100 μ l en medio agar LB selectivo. Las cuatro cepas transformadas con pExp-Lib fueron plaqueadas en medio selectivo con ampicilina [50 μ g/ml] (Sigma, #Cat. A9528) y las cepas con pSF-CMV-Ub-puro-SV40 Ori Sbfl en medio selectivo con kanamicina [40 μ g/ml] (Sigma, #Cat. K1876). Se incubaron a 37 °C por toda la noche.

Método estadístico. Se calculó la eficiencia de transformación para cada cultivo, y las eficiencias de cada cepa con cada plásmido se compararon con respecto a la eficiencia de DH5 α , con la prueba de comparación múltiple de Bonferroni, este método estadístico se engloba bajo la denominación de contrastes para comparaciones múltiples, ya que su objetivo fundamental es comparar entre sí medias de tratamientos o grupos de ellas, y permite superar las dificultades que surgen al aumentar el número de grupos a comparar. En donde los parámetros de comparación se expresan en términos del *p value* = < 0.0001 (***) significativo; (**) = medianamente significativo; ns = no significativo. El orden y análisis de los datos se llevó a cabo con los programas Microsoft Excel y Graph Pad Prism v5.0.

Resultados

Se evaluó la compatibilidad de los plásmidos pSF-CMV-Ub-puro-SV40 (pSF) y pExp-Lib (pExp) con dos cepas multicopia (DH5 α y XL1-blue), y dos cepas de interés biotecnológico utilizadas para la expresión de proteínas (BL21 y TG1). Las cepas utilizadas se adecuaron para hacerlas competentes con un protocolo modificado con $MgCl_2$ y $CaCl_2$ a concentraciones de 80 mM y 50 mM, respectivamente, con el racional de aumentar la capacidad de las bacterias para internalizar ADN exógeno. El protocolo de transformación empleado se describe en materiales y métodos, las bacterias se incubaron a 37 °C durante toda la noche, para después hacer el conteo de colonias y determinar el proceso de transformación más efectivo. Los cultivos con las combinaciones bacteriaplásmido más efectivos, es decir, los que presentaron mayor número de colonias por placa fueron aquellos

donde se utilizó la cepa XL1-Blue, sin importar el plásmido con que fue transformada (Figura 1A-E). Se observó que las colonias obtenidas en la cepa BL21 mostraron mayor tamaño (Figura 1B-F), en comparación con las colonias de las cepas XL1-Blue (Figura 1A-E) y DH5 α (Figura 1D-H). En este trabajo, la eficiencia de transformación se representa en unidades formadoras de colonia por mililitro (UFC/ml). Las cepas transformadas con el plásmido pSF no mostraron diferencias significativas entre ellas, sin embargo, las bacterias DH5 α mostraron diferencia significativa de transformación con respecto a las cepas XL1-Blue, y medianamente significativa con

BL21 y TG1, como se muestra en la Figura 2A. Al calcular la eficiencia de transformación en las cepas tratadas con el plásmido pExp, se observó que la variabilidad entre estas fue muy marcada. Se encontró una diferencia significativa entre las cepas DH5 α y XL1-Blue, medianamente significativa entre DH5 α y TG1 (Figura 2B). En contraste, las cepas DH5 α y BL21 no mostraron una diferencia significativa en su eficiencia de transformación (Figura 2B). En el caso del plásmido pExp, la cepa que mostró mayor eficiencia de transformación fue con la XL1-Blue, medianamente con las bacterias TG1 y la cepa con menor eficiencia DH5 α (Figura 2B).

Figura 1. Evaluación de la eficiencia de transformación con los vectores de expresión pSF-CMV-Ub-puro-SV40 Ori Sbf1 (Kan^r) y pExp-Lib (Amp^r) en cuatro cepas de *E. coli*: XL1-Blue (A, E), BL21 (B, F), TG1 (C, G) y DH5 α (D, H).

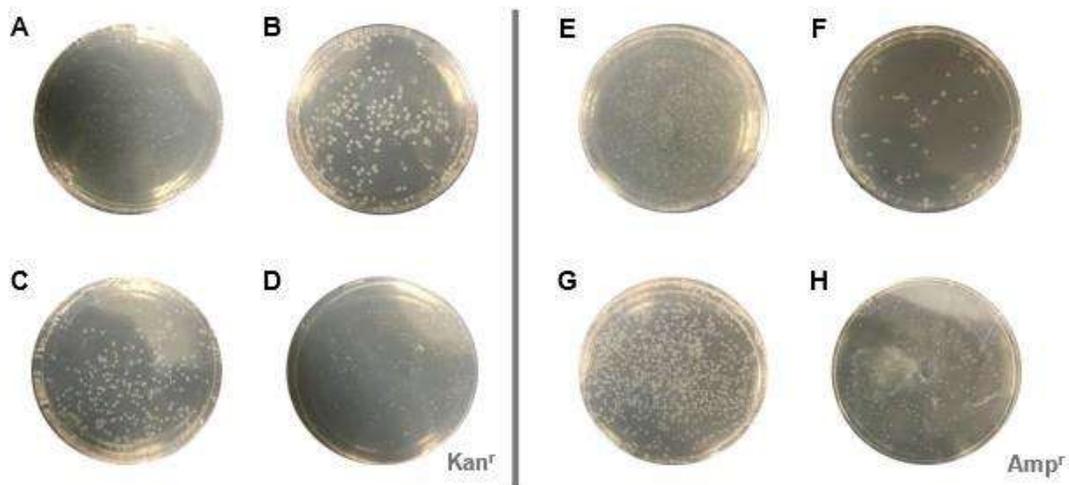
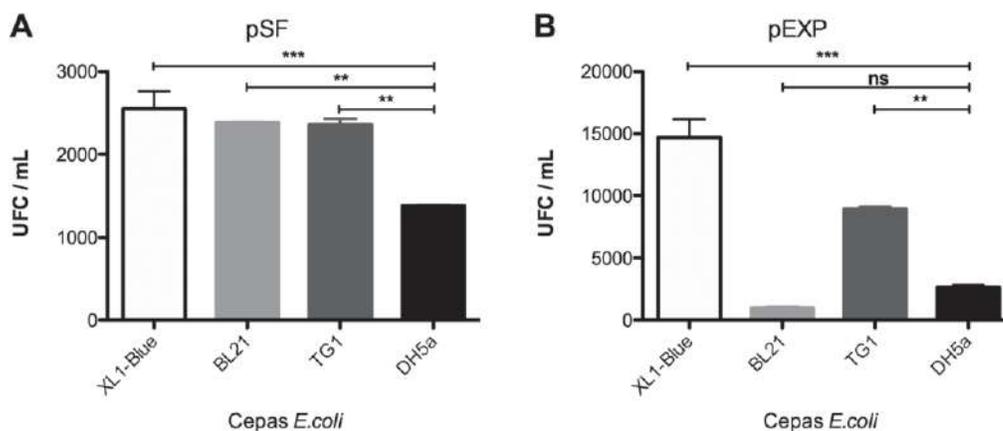
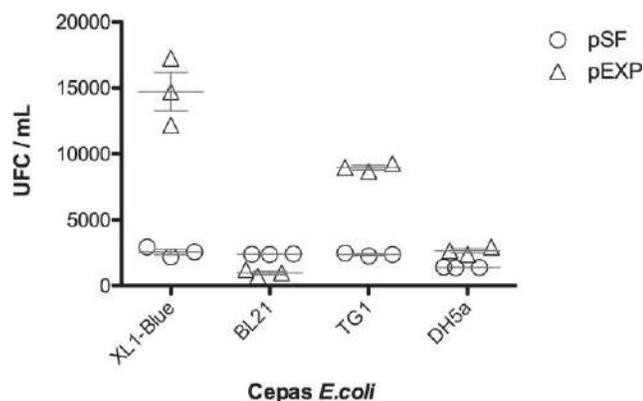


Figura 2. Eficiencia de transformación de diferentes cepas de *E. coli* y su comparación con DH5 α . A) Eficiencia de transformación con pSF-CMV-Ub-puro-SV40 Ori Sbf1 en diferentes cepas de *E. coli*. Comparación múltiple de Bonferroni. P value = 0.0003. B) Eficiencia de transformación con pExp-Lib en diferentes cepas de *E. coli*. Comparación múltiple de Bonferroni. P value = <0.0001. *** = significativo, ** = medianamente significativo, ns = no significativo.



En la Figura 3 se muestra un resumen de los resultados obtenidos al comparar la eficiencia de transformación entre las distintas cepas bacterianas. Se observó que el proceso de transformación más eficiente fue en los tratamientos donde las bacterias XL1-Blue y TG1 se transformaron con el plásmido pExp. La eficiencia de transformación en las cepas BL21 y DH5a no muestra diferencias notables al ser transformadas con ambos plásmidos. Los resultados obtenidos con el plásmido pExp muestran que la eficiencia de transformación incrementa tres veces el número de unidades formadoras de colonias al combinar la cepa XL1-Blue, y se duplica en la cepa TG1 en comparación con vector pSF. Los resultados en términos de la compatibilidad que presentan los plásmidos pExp y pSF con las cepas de *E. coli* en donde fueron evaluadas, sugieren que la cepa XL1-Blue y el vector pExp son los que presentan el mejor rendimiento de transformación.

Figura 3. Análisis de eficiencia de transformación (en UFC/ml) de cepas de *E. coli*, comparando los dos vectores de expresión utilizados (pSF-CMV-Ub-puro-SV40 Ori Sbf1 y pExp-Lib) con cada cepa bacteriana.



Discusión

La clonación de productos de PCR en plásmidos es una práctica común y necesaria en pasos subsecuentes para llevar a cabo experimentos que involucran ingeniería genética. La eficiencia de transformación es muy importante, puede afectar directamente el éxito de todos los ensayos posteriores y puede verse alterada por factores como la calidad

de las células competentes; por lo tanto, el establecimiento de un método químico de transformación eficiente y rápido es deseable en cualquier laboratorio de investigación que requiera de la biología molecular. Los protocolos para preparar las células competentes son diversos, y en aquellos donde se emplea el choque térmico para hacer la transformación, las bacterias son tratadas con CaCl_2 a una concentración que oscila entre 30-100 mM (Mandel y Higa, 1970; Chan *et al.*, 2013; Serrano-Rivero, 2013; Liu *et al.*, 2018), el papel del Ca_2 es destruir la matriz de lípidos en la membrana celular para formar un complejo con poli-hidroxibutirato y poli-fosfato inorgánico en la membrana celular, para facilitar la infiltración de ADN exógeno (Cohen *et al.*, 1992; Pope y Kent, 1996). Existen casos en que la preparación de las células competentes con CaCl_2 no es lo suficientemente efectivo, y tienen que modificarse los protocolos agregando MgCl_2 o MnCl_2 con la finalidad de hacer más eficiente la transformación de las bacterias (Chan *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2018). Se ha reportado que la baja eficiencia de transformación puede ser causada por la propiedad antibacteriana de LFCin-B (Broghden, 2005) y puede ser incrementada al agregar una concentración moderada/alta de MnCl_2 (50 mM) y CaCl_2 (30 mM), debido a que las propiedades antibacterianas de LFCin-B pueden ser inhibidas por concentraciones de Ca_2 y Mn_2 sin perder la permeabilidad de la membrana celular (da Silva *et al.*, 2012).

En este trabajo se evaluaron cuatro cepas de *E. coli* con diferentes características y aplicaciones. Fueron modificadas para hacerlas competentes y aumentar su capacidad de internalizar DNA exógeno, con un protocolo que incluye MgCl_2 y CaCl_2 a concentraciones de 80 mM y 50 mM, respectivamente. Los resultados obtenidos fueron expresados en términos del número de colonias para determinar el proceso de transformación más efectivo. Se formuló una matriz de variantes experimentales donde a dos plásmidos (pExp y pSF) se les determinó su compatibilidad con las cepas seleccionadas. Al valorar las eficiencias de transformación entre los plásmidos seleccionados, los resultados obtenidos con pExp sugieren que existe una mayor compatibilidad con las cepas bacterianas XL1-Blue y TG1, no así, con las cepas BL21 y DH5a (Figura 3).

No existe un consenso sobre la metodología más adecuada para obtener una mejor eficiencia de transformación. Dentro de los métodos de transformación químicos, existen diferentes variables que influyen en el proceso, como la cepa y plásmido utilizados (y la cantidad de ambos), el método para hacer competentes las células, con particular énfasis en las soluciones utilizadas, el medio de recuperación utilizado, y el gen de resistencia en cada plásmido. No existe un estándar para determinar la eficiencia de transformación, ya sea en función de la cantidad de ADN o en UFC (Unidades Formadoras de Colonia).

Conclusiones

En el presente estudio, fue modificado un método químico clásico para la obtención de células competentes; las bacterias fueron preparadas con una solución $MgCl_2$ (80 mM) y $CaCl_2$ (50 mM) con la finalidad de hacerlas más eficientes en la internalización de los plásmidos seleccionados. Por la importancia y aplicaciones en el área biotecnológica, los plásmidos pSF-CMV-Ub-puro-SV40 (pSF) y pExp-Lib (pExp) fueron evaluados en cepas de *E. coli* con características y aplicaciones especializadas en diversas técnicas de biología molecular. Dos de estas cepas son reconocidas por ser buenas productoras-duplicadoras de ADN (DH5 α y XL1-blue), y las otras dos son utilizadas para la expresión de proteína recombinante (BL21 y TG1). En conclusión, al comparar la eficiencia de transformación entre las distintas cepas bacterianas y su afinidad por los plásmidos empleados, pExp mostró el mejor desempeño al ser ensayado en las bacterias XL1-Blue y TG1. Para el caso de las cepas BL21 y DH5 α , y el plásmido pSF, tendrán que diseñarse y ser optimizados nuevos protocolos para aumentar la eficiencia de transformación. Cabe resaltar que que la eficiencia de transformación por métodos químicos es mucho menor que la de la electroporación, sin embargo, requiere de menor infraestructura y es más económica. Algunos investigadores la consideran inadecuada para experimentos de clonación molecular, como la construcción de bibliotecas de ADNc de alta complejidad, donde se cuenta con una cantidad mínima de ARNm. De ahí la importancia de contar con un protocolo en el laboratorio de un método químico de transformación eficiente y rápido.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado en parte con el proyecto CONACYT: Apoyos Complementarios para la Consolidación de Laboratorios Nacionales, Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo No. 293569.

Referencias

- AACHMANN, F.L., Aune, T.E., 2009. Use of cyclodextrin and its derivatives for increased transformation efficiency of competent bacterial cells. *Appl Microbiol Biotechnol* 83:589-596.
- BAESHEN, M.N., Al-Hejin, A.M., Bora, R.S., Ahmed, M.M., Ramadan, H.A., Saini, K.S., Baeshen, N.A., Redwan, E.M., 2015. Production of Biopharmaceuticals in *E. coli*: Current Scenario and Future Perspectives. *J Microbiol Biotechnol* 25:953-962.
- BLOUNT, Z.D., 2015. The unexhausted potential of *E. coli*. *Elife* 4.
- BROGDEN, K.A., 2005. Antimicrobial peptides: pore formers or metabolic inhibitors in bacteria? *Nat Rev Microbiol* 3:238-250.
- BROOKS, L., Kaze, M., Siström, M., 2019. A Curated, Comprehensive Database of Plasmid Sequences. *Microbiol Resour Announc* 8.
- BRUSCHI, F., Dundar, M., Gahan, P.B., Gartland, K., Szente, M., Viola-Magni, M.P., Akbarova, Y., 2011. Biotechnology worldwide and the 'European Biotechnology Thematic Network' Association (EBTNA). *Curr Opin Biotechnol* 22 Suppl 1:S7-14.
- CARMEN, S., Jeremutis, L., 2002. Concepts in antibody phage display. *Brief Funct Genomic Proteomic* 1:189-203.
- CHAN, W.T., Verma, C.S., Lane, D.P., Gan, S.K., 2013. A comparison and optimization of methods and factors affecting the transformation of *Escherichia coli*. *Biosci Rep* 33.
- CHEN, I., Dubnau, D., 2004. DNA uptake during bacterial transformation. *Nat Rev Microbiol* 2:241-249.
- CHOI, H.A., Lee, Y.C., Lee, J.Y., Shin, H.J., Han, H.K., Kim, G.J., 2013. A simple bacterial transformation method using magnesium- and calcium-aminoclay. *J Microbiol Methods* 95:97-101.
- COHEN, S.N., Chang, A.C., Boyer, H.W., Helling, R.B., 1973. Construction of biologically functional bacterial plasmids in vitro. *Proc Natl Acad Sci U S A* 70:3240-3244.
- COHEN, S.N., Chang, A.C., Boyer, H.W., Helling, R.B., 1992. Construction of biologically functional bacterial plasmids in vitro. 1973. *Biotechnology* 24:188-192.
- COHEN, S.N., Chang, A.C., Hsu, L., 1972. Nonchromosomal antibiotic resistance in bacteria: genetic transformation of *Escherichia coli* by R-factor DNA. *Proc Natl Acad Sci U S A* 69:2110-2114.
- CRICK, F.H., Barnett, L., Brenner, S., Watts-Tobin, R.J., 1961. General nature of the genetic code for proteins. *Nature* 192:1227-1232.
- DA SILVA, B.R., de Freitas, V.A., Nascimento-Neto, L.G., Carneiro, V.A., Arruda, F.V., de Aguiar, A.S., Cavada, B.S., Teixeira, E.H., 2012. Antimicrobial peptide control of pathogenic microorganisms of the oral cavity: a review of the literature. *Peptides* 36:315-321.
- FRYSZCZYŃ, B.G., Brown, N.G., Huang, W., Balderas, M.A., Palzkill, T., 2011. Use of periplasmic target protein capture for phage display engineering of tight-binding protein-protein interactions. *Protein Eng Des Sel* 24:819-828.

- HAN, M.J., Yoon, S.S., Lee, S.Y., 2001. Proteome analysis of metabolically engineered *Escherichia coli* producing Poly(3-hydroxybutyrate). *J Bacteriol* 183:301-308.
- HANAHAN, D., 1983. Studies on transformation of *Escherichia coli* with plasmids. *J Mol Biol* 166:557-580.
- HILDEBRAND, A., Schlacta, T., Warmack, R., Kasuga, T., Fan, Z., 2013. Engineering *Escherichia coli* for improved ethanol production from gluconate. *J Biotechnol* 168:101-106.
- HUANG, C.J., Lin, H., Yang, X., 2012. Industrial production of recombinant therapeutics in *Escherichia coli* and its recent advancements. *J Ind Microbiol Biotechnol* 39:383-399.
- JANSSEN, H.J., Steinbuchel, A., 2014. Fatty acid synthesis in *Escherichia coli* and its applications towards the production of fatty acid based biofuels. *Biotechnol Biofuels* 7:7.
- JEONG, H., Kim, H.J., Lee, S.J., 2015. Complete Genome Sequence of *Escherichia coli* Strain BL21. *Genome Announc* 3.
- JUDSON, H.F., 1996. The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology. Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- KAMIONKA, M., 2011. Engineering of therapeutic proteins production in *Escherichia coli*. *Curr Pharm Biotechnol* 12:268-274.
- KIM, B., Park, H., Na, D., Lee, S.Y., 2014. Metabolic engineering of *Escherichia coli* for the production of phenol from glucose. *Biotechnol J* 9:621-629.
- KOSTYLEV, M., Otwell, A.E., Richardson, R.E., Suzuki, Y., 2015. Cloning Should Be Simple: *Escherichia coli* DH5alpha-Mediated Assembly of Multiple DNA Fragments with Short End Homologies. *PLoS One* 10:e0137466.
- LEHMAN, I.R., Zimmerman, S.B., Adler, J., Bessman, M.J., Simms, E.S., Kornberg, A., 1958. Enzymatic Synthesis of Deoxyribonucleic Acid. V. Chemical Composition of Enzymatically Synthesized Deoxyribonucleic Acid. *Proc Natl Acad Sci U S A* 44:1191-1196.
- LINN, S., Arber, W., 1968. Host specificity of DNA produced by *Escherichia coli*, X. In vitro restriction of phage fd replicative form. *Proc Natl Acad Sci U S A* 59:1300-1306.
- LIU, J., Chang, W., Pan, L., Liu, X., Su, L., Zhang, W., Li, Q., Zheng, Y., 2018. An Improved Method of Preparing High Efficiency Transformation *Escherichia coli* with Both Plasmids and Larger DNA Fragments. *Indian J Microbiol* 58:448-456.
- LIU, T., Khosla, C., 2010. Genetic engineering of *Escherichia coli* for biofuel production. *Annu Rev Genet* 44:53-69.
- MANDEL, M., Higa, A., 1970. Calcium-dependent bacteriophage DNA infection. *J Mol Biol* 53:159-162.
- MESELSON, M., Yuan, R., 1968. DNA restriction enzyme from *E. coli*. *Nature* 217:1110-1114.
- POPE, B., Kent, H.M., 1996. High efficiency 5 min transformation of *Escherichia coli*. *Nucleic Acids Res* 24:536-537.
- RAHIMZADEH, M., Sadeghizadeh, M., Najafi, F., Arab, S., Mobasheri, H., 2016. Impact of heat shock step on bacterial transformation efficiency. *Mol Biol Res Commun* 5:257-261.
- ROSANO, G.L., Ceccarelli, E.A., 2014. Recombinant protein expression in *Escherichia coli*: advances and challenges. *Front Microbiol* 5:172.
- ROYCHOUDHURY, A., Basu, S., Sengupta, D.N., 2009. Analysis of comparative efficiencies of different transformation methods of *E. coli* using two common plasmid vectors. *Indian J Biochem Biophys* 46:395-400.
- SERRANO-RIVERO, Y., & Fando-Calzada, R., 2013. Comparación de dos métodos para la preparación de células competentes en *Escherichia coli*. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 44.
- SINHA, S., Redfield, R.J., 2012. Natural DNA uptake by *Escherichia coli*. *PLoS One* 7:e35620.
- YOSHIDA, N., Sato, M., 2009. Plasmid uptake by bacteria: a comparison of methods and efficiencies. *Appl Microbiol Biotechnol* 83:791-798. 6

Este artículo es citado así:

García-Cárdenas, S. T., D. G. Ruvalcaba-Hidrogo, C. C. Alvarado-González, M. G. Gómez-Fierro, O. E. Juárez-Acosta, M. R. Espinoza-Duarte, G. P. Espino-Solís. 2019. Comparación de la eficiencia de transformación entre diferentes cepas de *E. coli*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 13(2):112-120. DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v13i2.434>

Resumen curricular del autor y coautores

SAMANTHA YOLOTZIN GARCÍA CÁRDENAS. Estudió la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad Autónoma de Chihuahua, realizó su servicio social en el Laboratorio de Investigación Traslacional, en la sede del Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo sede Chihuahua. Ha participado como organizadora y asistente a diversos cursos como la XIII Escuela de proteínas, Fisiología en la plasticidad neuronal y Citometría de flujo. Tiene expertise en biología molecular, cultivo celular y diversas técnicas de citometría de flujo para monitorear viabilidad celular y expresión de citocinas. Actualmente realiza su trabajo de tesis en la búsqueda de compuestos con actividad antineoplásica en venenos de distintas especies.

DANIELA GRISEL RUVALCABA HIDROGO. Actualmente es pasante de la carrera de Ingeniería Biomédica de la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Realizó su servicio social en el Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la misma y prácticas profesionales en el Laboratorio de Investigación Traslacional - Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo Sede Chihuahua, lugar en donde se desempeña como tesista. Ha participado en un congreso nacional de ingeniería biomédica organizado por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica (SOMIB) presentando un proyecto estudiantil y ha formado parte del equipo organizador del "Taller de Fundamentos en Citometría de Flujo". Durante su formación acudió a cursos extracurriculares de inmunología, modelamiento de proteínas, citometría de flujo y de PCR en tiempo real. En el 2019 realizó una estancia de verano por la Academia Mexicana de Ciencias en el departamento de Biomedicina Molecular del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV).

Resumen curricular del autor y coautores (cont.)

CARMEN CAROLINA ALVARADO GONZÁLEZ. Estudiante de la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Realizó su servicio social en el Laboratorio de Investigación Traslacional, ahora también Laboratorio Nacional de Citometría sede Chihuahua. Actualmente realiza su tesis de licenciatura acerca de alacranes endémicos del estado de Chihuahua, llevando a cabo su clasificación morfológica y caracterización bioquímica del veneno. Ha participado en cursos impartidos en su facultad, asistió al "2° Curso de Animales Venenosos en México" en el Instituto de Biotecnología de la UNAM. Participó como ponente en el Simposio de Investigación en Biomédica de la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas de la UACH.

MARÍA GEORGINA GÓMEZ FIERRO. Es egresada de la carrera de Ingeniería Biomédica de la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, con el mejor promedio de su generación. Ha sido becada por la Academia Mexicana de Ciencias para realizar estancias de investigación en el Instituto de Biotecnología de la UNAM y en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados, sede Zacatenco. Ha participado como organizadora en talleres y cursos de inmunología y citometría de flujo. Realizó su servicio social en el Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo sede Chihuahua y actualmente trabaja en su tesis de licenciatura en el mismo, en colaboración con el Instituto de Biotecnología de la UNAM.

OSCAR ENRIQUE JUÁREZ ACOSTA. Terminó su licenciatura en Ingeniería Biomédica en el 2018, por la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Actualmente se encuentra realizando su tesis sobre la clasificación morfológica y caracterización bioquímica del veneno de alacranes endémicos del estado de Chihuahua en el Laboratorio de Investigación Traslacional, ahora Laboratorio Nacional de Citometría sede Chihuahua. En 2016 realizó su servicio social como Ingeniero Biomédico en el Hospital Central Universitario del Estado de Chihuahua.

MAYELA ROSARIO ESPINOZA DUARTE. Es egresada de la segunda generación de Ingeniería Biomédica por la Universidad Autónoma de Chihuahua, obtuvo una beca completa para participar en la primera escuela de verano en biotecnología "Una ventana al IBT y a la investigación" por el Instituto de Biotecnología de la UNAM, realizó una estancia académica en el Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo de la UNAM. Ha presentado proyectos de investigación en cursos y congresos organizados por la IUIS-ALAI y la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. Ha participado como organizadora y asistente a diversos cursos como la XIII Escuela de proteínas, Actualización en Inmunología y Citometría de flujo. Actualmente es coordinadora de la sede en Chihuahua del Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo. Trabaja en líneas de investigación enfocadas a la citometría dentro del Laboratorio de Investigación Traslacional.

GERARDO PÁVEL ESPINO-SOLÍS. Es Ingeniero Bioquímico por el Instituto Tecnológico de Durango; en el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IBT-UNAM) obtuvo los grados de Maestro y Doctor en Ciencias Bioquímicas, realizó estudios postdoctorales en Baylor Institute for Immunology Research (BIIR), en Dallas Tx. Es Profesor - Investigador de Tiempo Completo, titular C, en la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas de la UACH. Ha publicado artículos de investigación original, en revistas de circulación internacional, así como algunos trabajos de divulgación científica y dos patentes. Ha sido profesor y tutor en los programas de maestría y doctorado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) y en Baylor University. Es miembro de la Sociedad Mexicana de Inmunología y Sociedad de Glicobiología en Estados Unidos. Entre las distinciones que ha recibido destaca el reconocimiento como miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1 y perfil PRODEP. Actualmente dirige el Laboratorio de Investigación Traslacional y es Director de la Sede en Chihuahua del Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo.

Listado florístico preliminar del humedal Río San Pedro – Meoqui a siete años de su designación Ramsar

Preliminary list of flora established in the Río San Pedro – Meoqui wetland after seven years of its Ramsar designation

PEDRO IBARRA JAIME¹, BERTHA ALICIA RIVAS LUCERO², GABRIEL ZÚÑIGA ÁVILA²
Y MÉLIDA GUTIÉRREZ QUIROZ^{3,4}

Recibido: Febrero 2, 2019

Aceptado: Junio 4, 2019

Resumen

Los humedales en zonas áridas proveen funciones ecosistémicas importantes para el entorno, entre ellas, destaca la depuración de contaminantes y el proporcionar hábitat para flora y fauna silvestre. Este estudio reporta el primer listado florístico del humedal Río San Pedro-Meoqui, incluyendo especies acuáticas, subacuáticas, arbóreas y arbustivas dominantes a lo largo de cinco kilómetros del humedal colindantes con las zonas urbanas de Delicias y Meoqui. Para su identificación se utilizaron varios herbarios y guías reconocidos, mientras que el muestreo siguió el método de línea intercepción. Se reportan un total de veinte especies, de las cuales tres son invasoras. Este listado se podrá usar como punto de comparación en estudios futuros sobre vegetación establecida, así como sobre funciones depuradoras y ecológicas dentro del humedal.

Palabras clave: Chihuahua, humedal Ramsar, Río San Pedro, vegetación ribereña.

Abstract

Wetlands in arid areas provide important ecological services for the environment, which include filtration of contaminants and providing habitat to wildlife. This study provides the first list of dominant aquatic, subaquatic, and arboreal species of the Río San Pedro-Meoqui wetland along five km of river wetland flowing by the urban centers of Delicias and Meoqui. Species were identified using well-known wetland plant identification guides, while samples were collected following the line intercept method. A total of twenty species are reported here, from which three are invasive. This list can be used as a reference in future studies about vegetation established in the wetland, as well as its treatment and ecological functions.

Keywords: Chihuahua, Ramsar wetland, Río San Pedro, riparian vegetation.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA, FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA, CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

² UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA, FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES, CAMPUS DELICIAS, DELICIAS, CHIH., MÉXICO

³ MISSOURI STATE UNIVERSITY, GEOGRAPHY, GEOLOGY AND PLANNING DEPARTMENT, EUA.

⁴ DIRECCIÓN ELECTRÓNICA DEL AUTOR DE CORRESPONDENCIA: MGUTIERREZ@MISSOURISTATE.EDU



Introducción

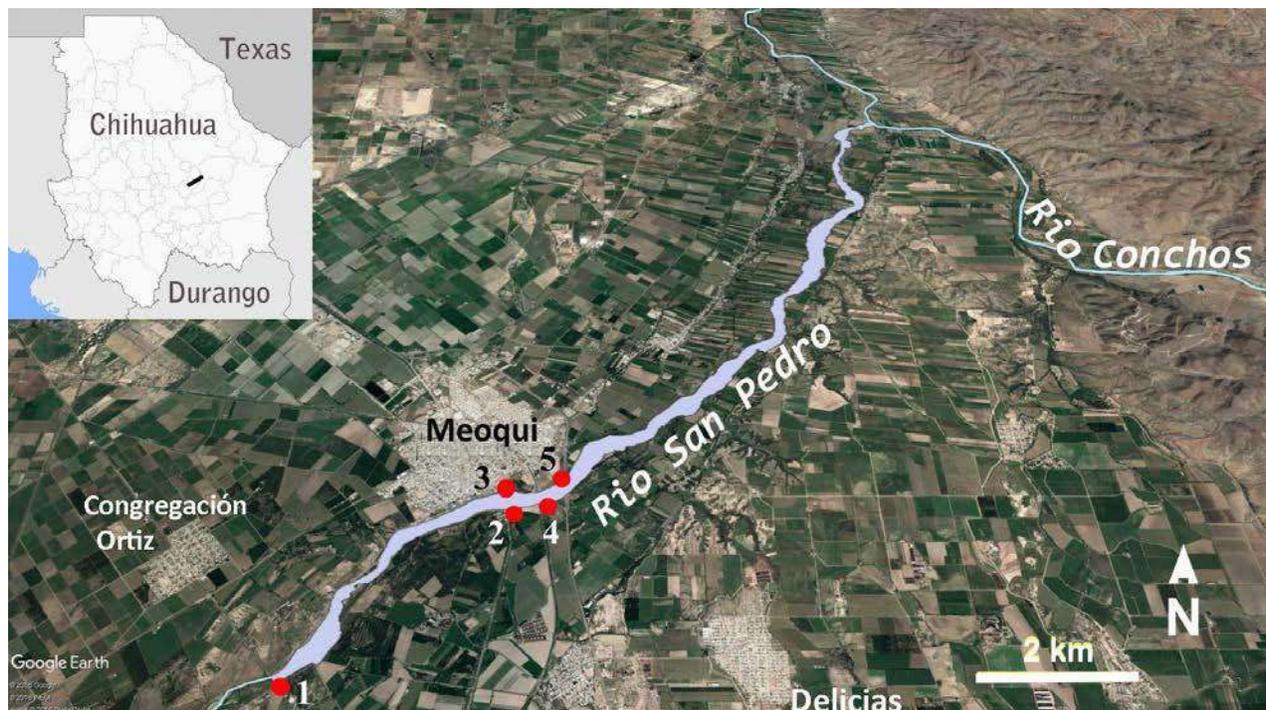
Un gran número de los humedales que existen en el norte de México se encuentran en su zona desértica, donde proveen funciones ecosistémicas sumamente importantes para el entorno, entre ellas depuración de contaminantes, recarga al acuífero, hábitat para aves nativas y migratorias, y retención de excedentes de agua durante inundaciones (Valerio-Villaseñor y Carreón-Hernández 2014). Otra función importante de humedales a nivel mundial es el saneamiento de aguas residuales (Alarcón Herrera y Reynoso Cuevas, 2018), donde la vegetación es clave para el ejercicio de dicha función (Plaza de los Reyes y Vidal, 2018).

Algunos de los humedales más importantes del estado de Chihuahua incluyen las lagunas de Patos, L. Santa María, L. de Guzmán, L. Palomas, L. Encinillas, L. de Bustillos, y L. de los Mexicanos. Cinco humedales en Chihuahua cuentan con designación Ramsar, una designación internacional para humedales de importancia ecológica (Ramsar 2014). Estos son: L. la Juanota, L. Guachochi, L. de Babícora, Río San Pedro-Meoqui, y manantiales geotermales de Julimes, (Carreón-Hernández, 2014). Los dos últimos abarcan un área superficial relativamente pequeña en la zona

semiárida del desierto Chihuahuense y obtuvieron su designación Ramsar en 2012 y 2013, respectivamente.

El objeto de este estudio es reportar el primer listado de vegetación del humedal Río San Pedro-Meoqui. Para esto se identificaron especies acuáticas, subacuáticas, arbóreas y arbustivas dominantes, así como su distribución aproximada a lo largo de cinco kilómetros del humedal y su posible relación con respecto a las fuentes puntuales de contaminación dentro de este segmento (Figura 1).

Figura 1. Humedal Río San Pedro-Meoqui (Sitio Ramsar 2047) y ubicación de sitios de muestreo.



El río San Pedro arrastra cantidades considerables de grava y arena durante la época de lluvias. En las últimas décadas, el cauce del río se ha alterado por la extracción de dicho material pétreo, tala ilegal, así como por acciones encaminadas a prevenir daños por las inundaciones, tales como ampliación del cauce y levantamiento de bordos (Martín Parga, comunicación personal).

El humedal y sitio Ramsar 2047 se compone de aproximadamente 15 kilómetros lineales de río y tiene un área de recarga de 374 hectáreas (Figura 1). El humedal está rodeado de zonas agrícolas donde se cultiva principalmente alfalfa, chile, cebolla y nogal. Aunque los retornos de irrigación se descargan por medio de canales de desagüe aguas abajo del humedal, algunos desechos agrícolas se integran al río por escorrentías.

Una función importante de este humedal es contribuir a la restauración del río San Pedro, el cual se reporta como contaminado (Gutiérrez *et al.* 2008; De la Maza Benignos, 2009). El humedal recibe cinco descargas de agua tanto pluvial como residual dentro del tramo de 5 km estudiado. A siete años de su designación Ramsar y de haberse modificado el flujo en este segmento del río, plantas acuáticas, subacuáticas y riparias se han ido restableciendo en sus márgenes y en su cauce. Durante su travesía, el agua cambia de turbia a clara y se convierte en sitio de reunión para más de cien especies de aves (Mondaca-Fernández *et al.* 2017).

Para este estudio se recolectaron muestras de plantas acuáticas y subacuáticas en tres recorridos (julio 2017, noviembre 2018, y enero 2019) en cinco transectos de muestreo alineados perpendiculares al cauce del río a lo largo de la franja riparia, siguiendo el método de línea intercepto (González *et al.* 1999). Durante estos recorridos se identificaron también las especies de árboles y arbustos colindantes al transecto.

En el laboratorio, las muestras de plantas acuáticas y subacuáticas recolectadas se secaron en una prensa de papel y se identificaron utilizando ITIS (ITIS 2017), Naturalista CONABIO; www.naturalista.mx, Herbario CONABIO www.conabio.gob.mx/otros/cgi-bin/herbario.cgi, Herbario JBB de Bogotá <http://colecciones.jbb.gov.co/herbario/especimen/simple>, Global Invasive Species Database www.iucngisd.org/

gisd/, Red de Herbarios del Noreste de México. <http://herbanwmex.net/portal/index.php>, y Guía Ilustrada de Campo, Plantas Indicadoras de Humedales (Lot *et al.*, 2015).

Una vez identificadas, se determinó su origen, esto es, si son endémicas de la zona, si son consideradas invasoras, y su utilidad al humedal; por ejemplo, su capacidad para depurar contaminantes, combatir la erosión del suelo, y proporcionar hábitat. Para esta información se consultaron las bases de datos mencionadas arriba.

Las plantas acuáticas y subacuáticas que crecen en el humedal se reportan en el Cuadro 1 y los árboles y arbustos de la franja riparia en el Cuadro 2.

Las especies acuáticas y subacuáticas identificadas en este estudio concuerdan con las reportadas por Valerio-Villaseñor y Carreón-Hernández (2014), son en su mayoría nativas y resistentes, y parecen estar llevando a cabo sus funciones depuradoras con éxito. Sin embargo, es de esperar que las descargas contaminantes y la irregularidad con la que se descargan esté afectando el establecimiento de la vegetación en forma negativa.

De las veinte especies identificadas, tres son invasoras: *Arundo donax* (carrizo), *Nicotiana glauca* (cornetón) y *Tamarix gallica* (pinabete de sal), y como tales podrían desplazar a especies nativas, con consecuencias perjudiciales al entorno (Valerio-Villaseñor y Carreón-Hernández 2014). Estas especies invasoras, sin embargo, son benéficas al humedal en otros aspectos. Por ejemplo, *Tamarix gallica* es un árbol resistente a variaciones en la salinidad del agua y cambios de temperatura, y provee hábitat a la fauna silvestre, mientras de las raíces fibrosas de *Arundo donax* y las bacterias que allí abundan, filtran en forma efectiva contaminantes tanto disueltos como suspendidos (Lot *et al.*, 2015).

El aspecto saludable de las especies arbóreas que pueblan la zona riparia indica un relativo éxito en su asentamiento, y por ende en sus funciones ecológicas, a pesar de los problemas de tala y modificación al entorno que enfrentan. Sin embargo, más estudios son necesarios para determinar las estrategias de manejo del humedal que garanticen su conservación en forma sostenida.

Cuadro 1. Vegetación acuática y subacuática en el humedal Río San-Pedro-Meoqui; su origen de acuerdo a especie nativa (N), introducida (I), invasora (II), o cosmopolita (C); sus funciones ecológicas y algunas características relevantes.

Nombre taxonómico y nombre común	Origen	Funciones ecológicas y otras características ¹
<i>Arundo donax</i> Carrizo, caña común	I, II	Plantas perenes amacolladas erectas de 2 a 6 metros de alto. Reportada como altamente invasora, efectiva en la absorción de arsénico en el agua.
<i>Bacopa monnieri</i> Bacopa, hisopo de agua, verdolaga de puerco	C	Hojas suculentas. Crece en zonas pantanosas, tiene propiedades medicinales.
<i>Bidens cernua</i> Margarita de agua	N	Crece en charcos de agua, se beneficia de la alteración humana, como el descenso del nivel de agua, el pastoreo de riberas y la eutrofización.
<i>Hydrocotyle verticillata</i> Sombbrero americano	N	Planta acuática trepadora común en arroyos y lagunas y sustrato arenoso. Hojas redondeadas.
<i>Ludwigia peploides</i> Duraznillo de agua, flor de laguna	C	Planta acuática perene. Hojas flotantes a sumergidas alternadas y redondeadas de 2 a 7 cm de largo, flores amarillas de 5 pétalos.
<i>Nasturtium officinale</i> Berro, mastuerzo de agua	C	Planta perene y comestible, originaria de Europa y Asia. Crece en zonas pantanosas. Apreciada en ensaladas por su valor nutricional.
<i>Paspalum distichum</i> Panizo, zacate de agua, zacate nudo	C	Gramínea de 20-50 cm, de hojas ásperas y flores en dos espigas abiertas en "Y". Suele encontrarse en corrientes de agua y lugares húmedos.
<i>Persicaria hydropiperoides</i> Pimienta del agua	N	Rango amplio de hábitat. Planta morfológicamente variable, con tallos de color rojizo, 20 a 80 cm de alto, con raíces fibrosas, múltiples en la base.
<i>Schoenoplectus californicus</i> Junco, tule, totora	N	Planta herbácea perene acuática. Tallo de 1 a 3 m y raíces fibrosas, las que filtran contaminantes y ayudan a controlar la erosión. Proveen hábitat para fauna silvestre.
<i>Typha domingensis</i> Tule, espadaña, cola de gato	N, C	Efectiva en el tratamiento de agua contaminada con desechos domésticos y agrícolas. La planta reduce >90% de bacterias entéricas. Uso medicinal, nativos las utilizan para curar heridas

¹ Lot et al. (2015)

Cuadro 2. Especies arbóreas y arbustivas en la zona riparia del humedal Río San-Pedro-Meoqui; su origen de acuerdo a ser especie nativa (N), introducida (I), invasora (II), o cosmopolita (C); y algunas características relevantes.

Nombre taxonómico y nombre común	Origen	Características ¹
<i>Acacia farnesiana</i> Huizache	N	Árbol pequeño con flores amarillas pequeñas que aparecen antes que las hojas y provee polen a abejas. Produce vainas.
<i>Baccharis salicifolia</i> Jara amarilla, chilca, azulmiate	N	Arbusto con follaje pegajoso y pequeñas flores. Es común cerca de fuentes de agua.
<i>Hymenoclea monogyra</i> Jejogo, planta del queso	N	Arbustos de suelos arenosos y poco fértiles. Tallos rectos utilizados por nativos como flechas, hojas en forma de aguja, flores blancas pequeñas en racimos.
<i>Nicotiana glauca</i> Cornetón, arbusto de tabaco	I	Árbol pequeño, hojas color verde-grisáceo, flores largas amarillas; crece a la orilla de ríos. Usada para tratar heridas en la piel, pero ingerida es tóxica.
<i>Parkinsonia aculeata</i> Palo verde, retama	N	Árbol pequeño con tronco verde y flores amarillas, adaptado al desierto. Cultivado en zonas templadas (Australia) donde puede ser invasor.
<i>Populus fremontii</i> Álamo	N	Árbol grande, crece donde sus raíces estén empapadas. Se utiliza para restaurar zonas riparias.
<i>Prosopis glandulosa</i> Mezquite	N	Árbol mediano de 5-9 m de altura. Raíces profundas le permiten vivir en el desierto. Fruto comestible.
<i>Salix nigra</i> Sauz, sauce negro	N	Árbol de tamaño medio y rápido crecimiento. Tiene corteza negruzca que fisura en los arboles viejos.
<i>Salix taxifolia</i> Sauz chiquito, sauce del río	N	Crece en suelos húmedos o empapados. Se usa para para crear entornos arbolados. Filtra contaminantes.
<i>Tamarix gallica</i> Taray, taraje, cedro salado, pinabete	I, II	Árbol pequeño de corteza rojiza y hojas pequeñas. Especie prolífica, consumidora de agua, generando sal, crece a lo largo de ríos en climas secos y calurosos.

¹ Lot et al. (2015)

Literatura citada

- Alarcón Herrera, M.T., L. Reynoso Cuevas. 2018. Humedales de tratamiento, en: Alarcón Herrera M.T., Zurita Martínez F., Lara Borrero J., Vidal G (Editores), Humedales de Tratamiento: Alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina., Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Colombia, 15-21. ISBN: 978-958-781-235-0.
- Carreón-Hernández, E. 2014. Conservación y manejo de los humedales (lénticos) pp: 520. En: CONABIO, La Biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. <https://dev-chm.cbd.int/doc/nbsap/study/mx-study-chihuahua-es.pdf>
- CONABIO, Malezas de México. 2012. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/ho-me-malezas-mexico.htm>
- De la Maza Benignos, M. 2009. Los Peces del Río Conchos. Alianza WWF - FGRA y Gobierno del Estado de Chihuahua. ISBN 978-607-00-1569-4
- González, D. U., H. Padilla, F. González, J. Uvalle, L. Reséndiz. 2012. Mejora la estimación de la cobertura vegetal por línea intercepto o línea de Canfield. *Ciencia UANL*, 59, 72-76.
- Gutiérrez, R. L., H. O. Rubio-Arias, R. Quintana, J. A. Ortega, M. Gutierrez. 2008. Heavy metals in water of the San Pedro River in Chihuahua, Mexico and its potential health risk. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5:91-98.
- ITIS. 2017. Interagency Taxonomic Information System. Canadá, EEUU y México. www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt. Fecha de consulta 3 de mayo de 2019.
- Lot, A., M. Olvera, C. Flores, A. Díaz. 2015. Guía ilustrada de campo. Plantas indicadoras de humedales. Fondo sectorial de investigación y desarrollo sobre el agua, Conagua-Conacyt, Mexico. ISBN 978-607-02-0000-0.
- Mondaca-Fernández, F., I. Moreno-Contreras, M. Jurado-Ruiz, A. G. Navarro-Sigüenza. 2017. Species richness, phylogenetic distinctness and conservation priorities of the avifauna of the Río San Pedro-Meoqui Ramsar site, Chihuahua, Mexico, *Biodiversity*, 18:156-167.
- Plaza de los Reyes, C. y G. Vidal. 2018. Tratamiento de aguas residuales, en: Alarcón Herrera M.T., Zurita Martínez F., Lara Borrero J., Vidal G (Editores), Humedales de Tratamiento: Alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina. ISBN: 978-958-781-235-0, Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Colombia, 200-205.
- Ramsar. 2014. The Ramsar convention on wetlands, www.ramsar.org. Fecha de consulta 3 de mayo de 2019.
- Valerio Villaseñor, A. y E. Carreón Hernández. 2014. Vegetación. Ecosistemas acuáticos. En: CONABIO, La Biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. pp: 478-480. 

Este artículo es citado así:

Ibarra Jaime, P., B. A. Rivas Lucero, G. Zúñiga Ávila y M. Gutiérrez Quiroz. 2019. Listado florístico preliminar del humedal Río San Pedro - Meoqui a siete años de su designación Ramsar. *TECNOCENCIA Chihuahua* 13(2):121-125. DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v13i2.431>

Resumen curricular del autor y coautores

PEDRO IBARRA JAIME. Cursó la Ingeniería en Ecología en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, concluyendo estudios en 2017, por ahora se encuentra con el estatus de pasante. Realizó prácticas profesionales en la empresa textil International Garment Processors, en el departamento de medio ambiente llevando a cabo la actualización del análisis de riesgo de la planta; como servicio social participó en un programa diagnóstico realizado al humedal Río San Pedro, mismo que tiene la categoría de sitio Ramsar desde 2012 en Meoqui Chihuahua, donde radica actualmente.

BERTHA ALICIA RIVAS LUCERO. Realizó sus estudios en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales (FCAyF) de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), obteniendo en 1983 el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. En el año 1993 le fue otorgado el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agrícola en Áreas de Temporal Deficiente por la FCAyF de la UACH. En el año 2003 obtuvo el Doctorado en Ciencias en Materiales en el área ambiental, grado conferido por el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) con sede en la ciudad de Chihuahua. Desde 1986 a la fecha se desempeña como maestra de tiempo completo en la FCAyF de la UACH, institución donde realiza investigación enfocada en el medio ambiente y desarrollo sustentable. A lo largo de su vida profesional ha participado como ponente en congresos nacionales e internacionales de su área del conocimiento. Ha dirigido tesis de licenciatura y maestría y publicado como autor y coautor artículos en revistas científicas arbitradas e indexadas.

GABRIEL ZÚÑIGA ÁVILA. En el año de 1982, obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, por la Facultad de ciencia Agrícolas y Forestales de la de la Universidad Autónoma de Chihuahua. En 1994 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agrícola en Áreas de Temporal Deficiente de la misma institución. Profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Chihuahua desde el año de 1982 a 2019, impartiendo clase en las carreras de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Ing. Forestal y Lic. En Administración de agronegocios. Con reconocimiento de perfil PRODEP en varios periodos académicos, participación en congresos Nacionales e Internacionales y publicaciones en revistas indexadas

MÉLIDA GUTIÉRREZ. Cuenta con un doctorado en Geohidrología de la Universidad de Texas en El Paso otorgado en 1992. De esa fecha a la actualidad ha trabajado como profesora investigadora en el área de geología ambiental en la Universidad del Estado de Missouri. Ha publicado artículos arbitrados sobre calidad de agua y suelo en dos regiones principalmente, la cuenca del Río Conchos y zonas cásticas en Missouri.



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA CULTURA FÍSICA.
UACH**





UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA



MOTRICIDAD HUMANA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA CULTURA FÍSICA.
UACH
AUTOR: MIGUEL VALVERDE CARRILLO