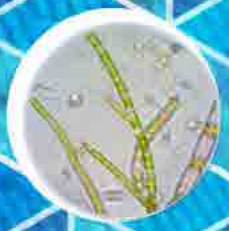
CONCYTEQ

Nthe

NTHE, palabra ñanhö (otomí) que significa vínculo o enlace (se pronuncia "enté")

Revista electrónica de difusión y divulgación científica, tecnológica y de innovación del estado de Querétaro ISSN 2007-9079

ISSN 2007-9079 Periodicidad: cuatrimestral - 2017 Núm. 18



EL QUEHACER DE LA CIENCIA

LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN EN EL ESTADO DE QUERÉTARO

CONCYTEQ

Nthe

Publicación de la Secretaría de Educación del Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro

DIRECTORIO

PRESIDENTE
M.V.Z. Francisco Domínguez Servién

VICEPRESIDENTE
Lic. José Alfredo Botello Montes

DIRECTOR GENERAL
M. en A. Raúl Iturralde Olvera

SECRETARIO
Lic. Mauricio Palomino Hernández

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS. Año 8, núm. 18, junio-septiembre de 2017, es una publicación cuatrimestral editada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ): calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000; tel. (442) 214 3685; www.concyteq.edu.mx; nthe@concyteq.edu.mx. Editora responsable: Alicia Arriaga Ramírez. Reserva de derechos al uso exclusivo núm. 04-2014-030713265000-203; ISSN 2007-9079, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Alicia Arriaga Ramírez: calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000. Fecha de última modificación: octubre de 2017.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro.

Director de la revista electrónica NTHE
Dr. Marco Antonio Carrillo Pacheco

Edición y Diseño de la Publicación
D.G. Alicia Arriaga Ramírez

Corrección de Estilo
Lic. Laura Paulina Limón Figueroa

NTHE. Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro:
http://www.concyteq.edu.mx/concyteq//uploads/publicacionArchivo/2017-11-1232.pdf

Luis Pasteur Sur núm. 36
Col. Centro, CP 76000
Tel. 52 (442) 214 3685 / 212 7266, ext. 105
Querétaro, Qro., México

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Gerardo Barrera Cardiel
Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Dr. Rodrigo Juárez Martínez
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua

Dr. Elías Rigoberto Ledesma Orozco
Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato, campus Irapuato-Salamanca

Dr. Leopoldo Ruiz Huerta
Grupo de Micromecánica y Mecatrónica del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM

Dr. Sergio Ricardo Galván González
Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Dr. Héctor Manuel Hernández Macías
Departamento de Botánica, Instituto de Biología de la UNAM

Dra. Gisela Muro Pérez
Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, campus Gómez Palacio

Dra. María Luisa García Batiz
Instituto de Estudios Económicos y Regionales, Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad de Guadalajara

Dr. José Antonio Rosique Cañas
División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco

Dr. Antonio Vega Corona
Subsecretaría de Fomento a la Innovación, Ciencia y Tecnología de la SICES de Guanajuato

Dra. Jazmín Anavel Monterrubio Redonda
División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco

Dr. Iván Salas Durazo
Coordinación del Doctorado en Políticas Públicas y Desarrollo, Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad de Guadalajara

Dr. Antonio Favila Tello
Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Dr. Víctor Hugo López Morelos
Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Dr. Luis Béjar Gómez
Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Dr. Ernesto Felipe Peralta Solorio
División de Economía y Derecho, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Monterrey

Dr. Álvaro Rafael Pedroza Zapata
Departamento de Economía, Administración y Finanzas del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Dr. José Manuel Barrera A.
Laboratorio de Catálisis y Materiales de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional

Dr. Óscar García Barradas
Unidad de Servicios de Apoyo en Resolución Analítica de la Universidad Veracruzana, campus Xalapa

Dra. Norah Yolanda Barba Behrens
Departamento de Química Inorgánica y Nuclear de la Facultad de Química de la UNAM

Dr. Enrique González Vergara
Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dr. Ignacio González Martínez
Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa

Dr. Alberto Álvarez Gallegos
Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Dra. María del Pilar Peña Cruz
Escuela Superior de Comercio y Administración del Instituto Politécnico Nacional, unidad Santo Tomás

Dr. Miguel Moreno Plata
Colegio de Humanidades y Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, plantel San Lorenzo Tezonco

QUERÉTARO ESTÁ EN NOSOTROS

QUERÉTARO
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN

CONCYTEQ

CONCYTEQ

Nthe

Publicación de la Secretaría de Educación del Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro

ÍNDICE

Comentario NTHE

Diseño de piñones motrices para antena ERIS 1
Ignacio Torres Contreras, César Eduardo Moreno López
Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ, A.C.)

Ingeniería en soldadura: una necesidad de la industria nacional 9
Juan Manuel Salgado López, Abraham Silva Hernández, Francisco Ignacio López Monroy, José Luis Ojeda Elizarrarás, Jesús Mauricio Tello Rico
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial

Tecnologías de frontera para ciudades inteligentes 15
Alejandro Manzano Ramírez, José Mauricio López Romero
CINVESTAV-IPN, unidad Querétaro

Educación y mercado de trabajo en el sector aeronáutico del estado de Querétaro, México 20
Rolando Javier Salinas García
Unidad Multidisciplinaria de Estudios sobre el Trabajo de la Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Querétaro

La productividad de las pequeñas empresas al innovar 29
Enrique Leonardo Kato Vidal, María de la Luz Fernández Barros
Posgrado de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Querétaro

Propuesta tecnológica y competitividad: estudio de mercado para las empresas queretanas en ensayos no destructivos 35
Jennifer Desireé Araujo González
María Guadalupe Navarro Rojero
Posgrado del Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ A.C.)

Modelo de gestión de riesgos: una base para la gestión de proyectos 44
Leidy Paola Rudas Tayo,[1] Jorge Armando Gutiérrez Bravo,[2]
[1]Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ A.C.)
[2]Industrial Automation México

Gestión ambiental e innovación, dos componentes clave de la competitividad de las medianas empresas metalmecánicas 52
Leoncio B. Baltazar Jiménez
Universidad Tecnológica de Querétaro

Diversidad y estado de conservación de las especies del género *Quercus* (Fagaceae) en Querétaro 63
Yazmín Hailen Ugalde de la Cruz, Beatriz Maruri Aguilar, María Magdalena Hernández Martínez y Emiliano Sánchez Martínez
Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío"

La remoción del colorante orgánico azul de metileno del agua 71
María Guadalupe Trejo Pérez, Araceli Arteaga Jiménez, Mónica Araceli Vidales Hurtado
CICATA-IPN, unidad Querétaro

Bioacumulación de metales tóxicos en macroalgas expuestas a jales mineros. Contaminación por metales en el distrito minero Xichú, Guanajuato 77
Sara Analí Ruíz Segoviano, Miriam Guadalupe Bojorge García y Enrique Arturo Cantoral Uriza
Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM

Selección de voltaje aplicado a una celda de electrólisis microbiana basada en lixiviado de composta 83
Elías Arias,[1] Ana del Rosario Pérez Paz,[1] Bibiana Cercado[2]
[1]Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco
[2]Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

El desarrollo psicológico en la práctica educativa 89
Omar Armando Carrillo Tamayo

Comentario NTHE

En esta segunda edición de Nthe-18, revista electrónica del CONCYTEQ, abordamos el quehacer de la ciencia, la tecnología y la innovación en el estado de Querétaro; con este objetivo, presentamos 12 interesantes trabajos, divididos en tres áreas del conocimiento científico: el ámbito de la ingeniería, la perspectiva social de la innovación y el campo de la sustentabilidad ambiental. Asimismo, compartimos la reseña del libro **El desarrollo psicológico en la práctica educativa**.

En el trabajo **Diseño de piñones motrices para antena ERIS**, el autor nos comparte el proceso para la rehabilitación del tren motriz de una antena de telecomunicación satelital ERIS, equipo esencial en las tareas de protección civil y preservación del medio ambiente.

De gran importancia es el trabajo **Ingeniería en soldadura: una necesidad de la industria nacional**; en él, los autores argumentan sobre la necesidad y la importancia de diseñar y manufacturar en la ingeniería de soldadura para evitar errores de falla en componentes soldados. Esto es relevante en México, en especial en el estado de Querétaro, si consideramos que aquí se han asentado empresas aeronáuticas y automotrices, además de que en los estados vecinos existen empresas de la industria automotriz y otras más donde las uniones soldadas se consideran críticas.

Tecnologías de frontera para ciudades inteligentes nos presenta una reflexión sobre las diferentes conceptualizaciones para el término ciudad inteligente y establece una interesante relación entre las teorías cuánticas, el desarrollo de nuevos materiales y las ciudades inteligentes, planteamiento innovador que motiva al análisis y a la reflexión.

En el artículo **Educación y mercado de trabajo en el sector aeronáutico del estado de Querétaro, México**, se lleva a cabo un análisis del sector aeronáutico de Querétaro y de la dinámica de su mercado de trabajo, a partir de dos instituciones clave en la formación de profesionales orientados a este sector industrial. Una de estas instituciones corresponde al nivel medio superior: el CONALEP Aeronáutico Bicentenario de Querétaro; la otra pertenece al nivel superior: la Universidad Aeronáutica en Querétaro (UNAQ).

Las empresas pequeñas y medianas se caracterizan por tener bajos niveles de productividad y dedicar escasos recursos a actividades innovadoras. El objetivo del artículo **La productividad de las pequeñas empresas al innova**r es probar estadísticamente la relación entre productividad laboral e inversión en innovación, particularmente en la economía de Querétaro.

Propuesta tecnológica y competitividad: estudio de mercado para las empresas queretanas en ensayos no destructivos resulta de interés específico para la empresa; en este trabajo, se proponen algunos elementos que pueden contribuir al desarrollo de la capacidad para fortalecer la competitividad de las empresas queretanas en el sector de ensayos no destructivos, por medio de una propuesta tecnológica competitiva e innovadora basada en un estudio de mercado.

Los autores de **Modelo de gestión de riesgos: una base para la gestión de proyectos** nos presentan esta propuesta para la empresa Industrial Automation México, resultado del análisis de la estructura actualmente diseñada para su gestión de proyectos. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo explorar herramientas que pudieran optimizar los resultados en sus indicadores de tiempo, costo y calidad, así como fomentar una cultura preventiva —más que reactiva— en las diferentes fases de cada proyecto realizado en la empresa.

Por su parte, el objetivo central del proyecto de investigación **Gestión ambiental e innovación, dos componentes clave de la competitividad de las medianas empresas**

metalmecánicas es analizar el papel de la innovación como parte de la gestión ambiental (GA), así como su impacto en la competitividad de las medianas empresas metalmecánicas ubicadas en Querétaro, México. La estrategia metodológica es cuantitativa y está basada en un estudio de once empresas elegidas de manera aleatoria del Directorio Nacional de Unidades Económicas (DNUE) del INEGI.

En el artículo **Diversidad y estado de conservación de las especies del género Quercus (Fagaceae) en Querétaro**, los autores manifiestan una falta de estudios para el género Quercus en el estado, por lo que consideran necesaria la gestión de estos enfocados hacia la ecología y sistemática de ésta familia, para definir estrategias de conservación.

En el artículo **La remoción del colorante orgánico azul de metileno del agua**, los autores se ocupan de investigar sobre el desarrollo de materiales y métodos para eliminar de forma segura la carga de contaminantes que desechan numerosas industrias, varios de los cuales presentan resistencia a su degradación química y biológica. En este trabajo, se muestra la capacidad que tiene el óxido de tungsteno en forma de polvo para remover el azul de metileno del agua.

En **Bioacumulación de metales tóxicos en macroalgas expuestas a jales mineros. Contaminación por metales en el distrito minero Xich**ú, Guanajuato, los autores muestran su preocupación, debido a que han encontrado macroalgas con acumulación de metales tóxicos en gran cantidad en este lugar, lo cual evidencia que los ambientes están siendo afectados por los jales depositados en la zona. Este primer estudio exploratorio despierta el interés, abre la puerta para futuras investigaciones en el sitio y llama la atención para intervenir, ya que ambos cuerpos de agua son utilizados para irrigación agrícola.

La producción a bajo costo de bioenergía a partir de residuos orgánicos ha generado gran interés, debido a la abundancia de materiales de desecho que representan alternativas innovadoras para obtener energías limpias. El trabajo Selección de voltaje aplicado a una celda de electrólisis microbiana basada en lixiviado de composta muestra un análisis del potencial requerido para una producción de corriente eléctrica en celdas de electrólisis microbianas, en las cuales se utiliza como sustrato e inóculo un medio de lixiviado de composta.

Esperamos que los trabajos presentados sean de su interés y que puedan motivar a públicos académicos más amplios a reflexionar en torno al potencial que la ciencia, la tecnología y la innovación tienen para lograr que el desarrollo siga el curso de la sustentabilidad.

Dr. Marco Antonio Carrillo Pacheco
Director de la revista NTHE

Diseño de piñones motrices para antena ERIS

Ignacio Torres Contreras[1] César Eduardo Moreno López[2]

Resumen

Para la rehabilitación del tren motriz de antena para la estación de recepción de información satelital (ERIS), fue necesario asegurar una geometría correcta de los piñones de la flecha impulsora que mueve los brazos del movimiento vertical, por medio de un par de engranes internos especiales importados, los cuales llevan integrado, cada uno, un balero de rodillos cruzados. Mediante la presente metodología, es posible diseñar y manufacturar en el mercado mexicano un piñón que trabaje adecuadamente con el engrane interno especial de importación. Para garantizar la integridad de la operación entre estos pares de engranes, no sólo es necesario tomar en cuenta el diseño geométrico, sino que también es importante considerar el diseño por resistencia de los materiales. El diseño geométrico queda limitado a las herramientas de corte, materiales y procesos de manufactura disponibles en el mercado local.

Palabras claves: ingeniería inversa de engranes, antena ERIS

Introducción

La antena para la estación de recepción de información satelital (ERIS) se utiliza para fines científicos, biológicos y de apoyo humanístico en catástrofes naturales. Tiene como función principal el seguimiento de algunos satélites, desde los cuales baja imágenes satelitales en su radio de alcance, las cuales son procesadas para sus fines específicos. La ERIS tiene más de 15 años de vida.

A raíz de la rehabilitación de la transmisión del tren de potencia para el movimiento de elevación de la antena ERIS, se llevó a cabo una revisión de los componentes para la realización de un diagnóstico integral de cada uno.

CIATEQ, AC, Centro de Tecnología Avanzada
Calzada del Retablo 150, Santiago de Querétaro, Qro., México
Teléfono: 01 442 196 1500, ext. 4174
[1]igtoc@ciateq.mx
[2]cesar.moreno@ciateq.mx

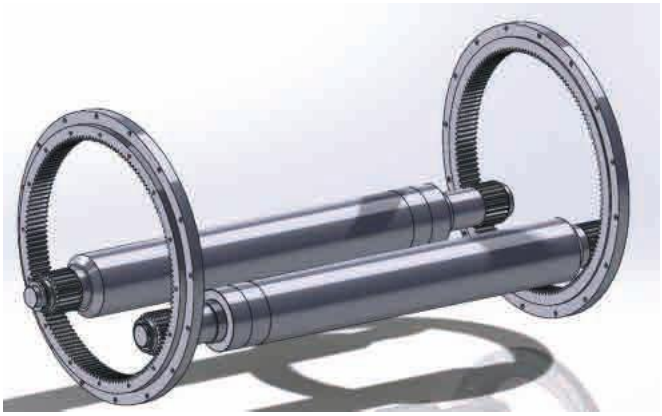


Figura 1. Arreglo de flechas y engranes internos para el movimiento vertical de la antena.

Es así como se encontró que la flecha motriz con doble piñón, requiere también de una rehabilitación. Básicamente, se requiere cambiar toda la flecha con sus dos piñones integrales en sus extremos. La razón del cambio, se basa en que los piñones presentan indicaciones de desgaste extremo y flujo plástico en las caras de contacto. Los piñones trabajan con el engrane interno, que es parte integral del rodamiento que está dañado, figura 1.

El daño de estos baleros, ha provocado que la antena quede fuera de servicio. Como el engrane interno se cambiará por uno nuevo de importación, dado que es de manufactura especial, la recomendación es que también se cambien los piñones motrices. Estas flechas están descontinuadas, así que se ha optado por la rehabilitación de las que se tienen, toda vez que el resto de ellas es de un diseño muy robusto y, por ende, son rescatables.

Es importante asegurar que la geometría de los piñones nuevos que deberán ser manufacturados en el mercado local corresponda con la geometria de los engranes internos y garantizar que las propiedades mecanicas de los materieales sean similares a los originales para obtener una vida adecuada. El método utilizado para la obtención de la geometría inversa de los piñones se basa en la método desarrollado por Isaias Regalado [1] porque ofrece la ventaja de que puede realizarse con instrumentos de medición convencionales.

La primera etapa para el diseño de un engrane inicia con la recopilación de información sobre la aplicación, condiciones de operación, restricciones del diseño y vida útil esperada. Otras limitaciones muy importantes para el diseño de engranes son la disponibilidad de las herramientas de corte para el generado, los materiales y los procesos de manufactura disponibles en el mercado.

Una restricción fundamental del presente caso de estudio es el asegurar un diseño del piñón que pueda ser manufacturado en el mercado local y asegurar que trabaje adecuadamente con el engrane interno de manufactura especial de importación.

En la segunda etapa del diseño, se considera primeramente el diseño geométrico de los piñones; una vez logrado, se procede con el diseño por resistencia. En el diseño por resistencia, se evalúa la resistencia a la flexión en la raíz del diente y la fatiga superficial al desgaste generada por el efecto del contacto.

Para realizar la ingeniería inversa en el presente documento se utilizan las dos medidas básicas para el control de un engrane: medida entre pernos (*measurement over pins or ball*) y la medida de la suma de pasos (*span measurement*). Estas dos medidas han sido muy utilizadas para el cálculo y el dieño y control de la geometria de engranes con dientes simétricos y asimétricos por Kapelevich [2]. Se han realizado estudios analíticos y experimentales utilizando diferentes instrumentos para la medida entre pernos en engranes cilíndricos helicoidales con número de dientes impares, concluyéndose que para obtener un precisión adecuada se deben hacer varias mediciones y que para este caso, las superficies de contacto juegan un papel critico en la medición, Zhang [3]. Algunos especialistas han efectuado estudios comparativos de la distancia entre pernos realizada usando algoritmos computaciones contra mediciones con instrumentos convencionales y de los cuales se ha concluido que las mediciones asistidas por algoritmos ayudan a tener una mayor precisión, Zhan [4]. Otros expertos han aportado metodologías analíticas para la realización de la ingeniería inversa de engranes como una respuesta del mercado actual para el *benchmarking* y el mejoramiento de la calidad en los productos y también se afirma que la ingeniería inversa es una actividad necesaria en el mundo industrial moderno, Schultz [5].

Hoy en día existen muchas tecnologías para medir y dimensionar engranes, estas van desde principios por interferometría, tracker, escaner, por algoritmos de visión, láser, mesas de coordenadas entre otros [4]. Kumar [6] utiliza la ineniería inversa con la ayuda de un escaner láser para determinar el desgaste sobre la caras de un engrane recto. Sin embargo, a pesar de haber varias tecnológías modernas para realizar mediciones en engranes, pocos tienen acceso a ellas y en muchos casos pueden evitarse al aplicar metodologías e instrumentos de medición convencionales como en el presente caso.

Queda claro que la metodología [1] a utilizar es valida y que se deberá tener mucho cuidado con los instrumentos y técnicas de medición utilizadas para obtener la mayor precisión posible. En la presente aplicación se espera que la precisión demandada por los engranes corresponda a una calidad de manufactura industrial de uso general, la cual puede ser obtenida por instrumentos manuales convencionales. Es crítico obtener la geometría que garantice su engranamiento correcto con el engrane interno. Finalmente la geometría calculada es validada mediente software para garantizar el trabajo por resistencia.

Para realizar los cálculos geométricos y de resistencia en los piñones, es indispensable apegarse a las normatividades aplicables. En la actualidad, existen varias normatividades que rigen el diseño de engranes; las dos predominantes son la American Gear Manufacturers Association (AGMA) y la International Organization for Standardization (ISO). Una diferencia importante entre estas dos normatividades, es que los diseños desarrollados con AGMA proporcionan componentes más robustos que los diseños con la normatividad ISO. Esto es importante cuando se tiene como restricción el mínimo volumen y peso del tren de potencia. Dado que el engrane interno para el que se diseñará su piñón, viene de EUA, el diseño se desarrollará de acuerdo con la normativa de AGMA y se concervará el sistema inglés como unidades de cálculo.

En una tercera etapa, se tiene el proceso de manufactura en general, donde la calidad de los materiales locales se debe tomar en consideración en el diseño. Para el presente caso, es importante lograr una geometría que pueda ser realizable con los materiales y las capacidades de manufactura de la región. Los piñones deberan tener una vida equivalente a los originales y a la par de la vida esperada en el engrane interno.

Datos de entrada

La Antena ERIS es de diseño estadounidense. Los dos movimientos —acimut y el de elevación— son realizados mediante un servomotor que trabaja a 208/120V AC, 60 Hz para cada uno. El par máximo a la salida del tren de potencia, el cual termina moviendo el plato en sus dos ejes, es de 32,000 lb-pie, de acuerdo con el manual de operación y mantenimiento. La ERIS mide 12 metros de altura y el diámetro del plato es de 6 metros. La figura 1 muestra la antena ERIS.

El sistema de elevación está formado por dos sistemas de transmisiones iguales para contrarrestar el efecto del

Figura 2. Antena ERIS.

claro tangencial entre dientes (*backlash)* con respecto de los diámetros de paso, (ver figura 3).

La figura 3, muestra el arreglo de las dos flechas motrices para el movimiento vertical de la antena. Los piñones que trabajan con el engrane interno, son los que se diseñan en el presente trabajo y se conserva el resto de las flechas.

Geometría de referencia

La geometría de referencia, para la cual se deberá asegurar la geometría de los piñones, es dada por el proveedor del engrane interno que va integrado a los rodamientos de rodillos cruzados. Los datos principales se muestran en la tabla 1.

Con base en la geometría de referencia del engrane interno, se procederá a calcular la geometría de los piñones.

Ingeniería inversa de los piñones

Se toman las dimensiones básicas de los piñones usados con instrumentos convencionales de acuerdo, con la metodología del doctor Isaías Regalado [1] y las ecuaciones de la norma AGMA [7]. Los datos recabados físicamente sobre los piñones usados se dan en la tabla 2.

La medida entre pernos sobre el plano transversal de un engrane recto está dada por las ecuaciones 1, 2 y 3, (ver figura 3):

La medida de la suma de pasos, se calcula por medio de la ecuación 4, (ver figura 4):

Para calcular los parámetros geométricos de los piñones se consideran, además, los datos de la geometría propuesta. Se asumen las proporciones de una

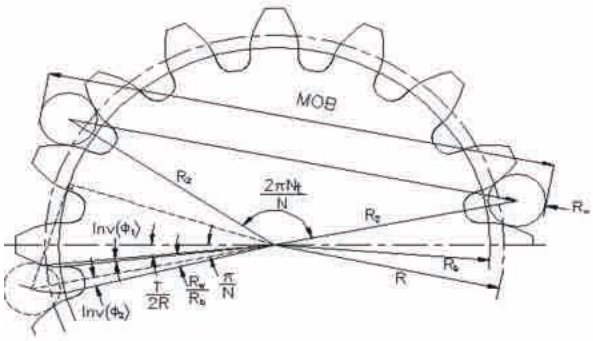


Figura 3. Medida entre pernos en un engrane recto.

1. $$MOB = 2R_W + R_2\sqrt{2 - 2\cos\left(\frac{2\pi N_t}{N}\right)}$$

2. $$R_2 = \frac{R_b}{\cos(\phi_2)}$$

3. Y ϕ_2 está dada por:
$$Inv(\phi_2) = \frac{T}{2R} + Inv(\phi_1) + \frac{R_W}{R_b} - \frac{\pi}{N}$$

Datos del dentado interno	ANSI B6.1-1968
Número de dientes	144
Ángulo de presión, (°)	20
Paso diametral, (dtes/pulg)	6
Diámetro de paso teórico, (pulg)	24.000
Corrección del adendo	0
Altura total del diente, (pulg)	0.3595
Espesor circular sobre diámetro de paso teórico, (pulg)	0.2618 / 0.2591
Diámetro de perno de prueba, (pulg)	0.280
Medida entre pernos de prueba, (pulg)	23.6190 / 23.6267
Dureza superficial sobre el dentado, (BHN)	285 - 325
Calidad AGMA de generación	Q10

Tabla 1. Datos del generado del engrane interno de importación

Datos y dimensiones físicas de piñones	ANSI/AGMA 2002-B88
Número de dientes	23
Ancho de cara, (pulg)	2.5
Diámetro exterior, (pulg)	4.156
Medida *span*entre, (dtes)	2
Medida *span*normal, (pulg)	0.7948 / 0.7950
Medida entre pernos: diámetro del perno de prueba, (pulg)	0.374
Medida entre pernos, (pulg)	4.5052 /4.5054

Tabla 2. Levantamiento dimensional de piñones

herramienta normalizada, dado que la idea es el manufacturarla con base en ellas.

La distancia entre centros real u operativa es, CO=10.064 pulg. El diámetro de paso teórico del piñón es 3.833 pulg, mientras que el diámetro teórico de paso del engrane

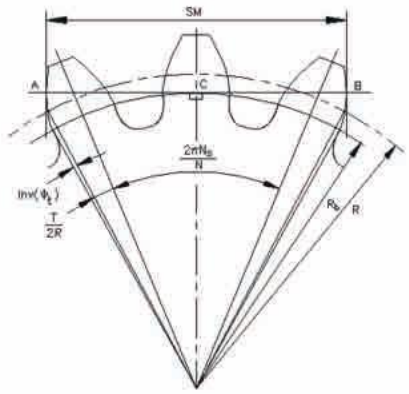


Figura 4. Medida *span* en un engrane recto.

$$SM = R_b \cos(\psi_b)\left[\frac{T}{R} + \frac{2\pi N_s}{N} + 2\,Inv(\phi_t)\right] \quad (4)$$

interno es de 24.000 pulg. Por lo tanto, la distancia teórica del par de engranes es igual a C=(24.000-3.833)/2= 10.083 pulg. Esto es, la distancia teórica es 0.0192 pulg mayor que la real. Por lo tanto, a pesar de que el engrane interno no tiene corrección de adendo, es necesario modificarlo positivamente para compensar tal diferencia. Para realizar ese ajuste, se tiene que definir el *backlash* requerido para estos engranes a fin de permitir una correcta lubricación y prever las interferencias por errores de manufactura y de las dilataciones térmicas. De acuerdo con Dudley [8] para un paso diametral de 6 dtes/pulg y una distancia entre centros de 10 a 20 pulg, se recomienda un valor máximo para *backlash* de 0.010 pulg. En el presente caso, se pretende diseñar una geometría de un piñón que trabaje con una geometría estándar para el engrane interno existente.

Para el cálculo de la corrección de adendo es necesario analizar la condición de cero *backlash* de acuerdo con las ecuaciones para engranes internos (5, 6 y 7) y posteriormente se agrega la corrección requerida.

$$e_g - e_p = \frac{(Ng - Np)[\,Inv(\phi_t') - Inv(\phi_t)]}{2P\tan(\phi)} \quad (5)$$

Donde:

$$\phi_t' = A\cos\left(\frac{C\cos(\phi_t)}{CO}\right) \quad (6)$$

$$e_B = \frac{Bl}{2\tan(\phi)} \quad (7)$$

La corrección total operativa del par de engranes de estudio, está dada por la ecuación (8).

$$e_T = e_g + e_p - e_B \quad (8)$$

Donde:

e_T, corrección total de par de engrane, pulg.

e_p, corrección del piñón, pulg.

e_g, corrección en el engrane interno, pulg.

e_B, corrección debida al backlash, pulg.

En el presente caso, la corrección total necesaria para obtener un *backlash* de cero para una distancia entre centros de 10.064 pulg, está dada como sigue:

$$\phi_t' = A\cos\left(\frac{(10.064)\,Cos(20^o)}{10.833}\right) = 19.695^o$$

$$e_g - e_p = \frac{(144-23)[\,Inv(19.695) - Inv(20)]}{(2)(6)\tan(20)}$$

$$e_g - e_p = -0.0192$$

Como la corrección del engrane e_g es cero, la corrección requerida en el piñón será de:

$$e_p = 0.0192$$

El coeficiente de corrección de adendo del piñón X_p está dado por la ecuación (9).

$$X_p = eP = (0.0192)(6) = 0.1151 \quad (9)$$

Por otro lado, la corrección requerida para obtener un *backlash* máximo de 0.010 pulg es:

$$e_B = \frac{0.010}{(2)(\tan 20)} = 0.0137$$

Con el siguiente coeficiente de corrección total:

$$X_B = e_B P = (0.0137)(6) = 0.0824$$

Finalmente, la corrección total para el par de engranes es:

$$e_T = 0 + 0.0192 - 0.0137 = 0.0055$$

La corrección total resulta ser muy cercana a cero; esto significa que, para el diseño original, se trató de maximizar la resistencia expandiendo los espesores del dentado a su mayor tamaño posible. De esta forma, se

tienen dos elementos con sus espesores sobre el diámetro de paso teóricos y, en lugar de reducir alguno de ellos para generar el *backlash*, se logra el mismo resultado recortando un poco la distancia entre centros; para este caso, particular es prácticamente la distancia equivalente al *backlash* requerido. Por lo tanto, sólo se trabajará con los ajustes necesarios para generar el rango de *backlash* sobre los 0.010 pulg. Dado que un engrane interno tiene una mayor relación de contacto, se hará una modificación de perfil negativa para adelgazar el espesor del diente, mientras que para el piñón se hará una corrección positiva.

De los datos del engrane interno expuestos en la tabla 1, el espesor sobre el diámetro de paso teórico es de 0.2618/0.2591 pulg. Como puede notarse, la condición de máximo material está referenciada con el espesor sobre el diámetro de paso teórico. Entre estos dos valores, hay una diferencia de 0.0027 pulg. De acuerdo con AGMA [2], para una calidad Q10 y un paso diametral de 6, se está aplicando un código de tolerancia B. Este mismo valor aplica para la tolerancia del piñón compañero. El espesor normal del piñón sobre el diámetro de paso teórico para cero *backlash* tiene un valor de 0.2757 pulg. El espesor de piñón para un *backlash* de 0.010 pulg nominal es de 0.2622 pulg; esto se logra con un coeficiente de corrección de adendo positivo de 0.033.

En la tabla 3, se hace la combinación entre espesores y se consideran los valores de *backlash* mínimo y máximo para ambos componentes. El paso circular normal teórico permanece constante.

Dim: pulg	Máximo	Mínimo	Arco claro cordal máximo
Espesor del engrane interno	0.2618	0.2591	0.2645
Espesor del piñón	0.2649	0.2622	
Backlash	0.012	0.007	
Coeficiente de corrección de adendo del piñón	0.0256	0.0033	

Tabla 3. Cálculo de espesores del piñón, (pulgadas)

Diseño geométrico de los piñones

De acuerdo con los datos del fabricante del engrane interno, se tiene un adendo de 0.1666 pulg. y una profundidad total de 0.3595 pulg. La altura estándar para una herramienta de corte de con un coeficiente de corrección total de 2.25/6 es igual a 0.375 pulg. Se tiene una diferencia de 0.0155 pulg, la cual es muy cercana a la diferencia entre la distancia de centros teórica y operativa. Al alejar el par de engranes entre sí, se afecta la relación de contacto, por lo que deberá revisarse a fin de

Dim: pulg	Piñón		Engrane interno
Número de dientes	23		144
Paso diametral normal		6	
Áng. de presión normal		20	
Ancho de cara		2.5	
Coef. de adendo Hta.	1.25		1.25
Coef. de adendo Hta.	1		1
Coef. radio punta Hta.	0.3		0.3
Coef. de corrección adendo	0.0256/0.002		0/-0.022
Espesonormal @ diám. de paso teórico	0.2649/0.2622		0.2618/0.259
Diám. base	3.602		22.553
Diám. de raíz	3.425		24.417
Diám. de paso teórico	3.833		24.000
Diám. de paso operativo	3.842		24.057
Diám. exterior	4.176		23.667
Backlashmáximo		0.012/0.007	
Calidad AGMA		Q10	

Tabla 4. Diseño de piñones rectos

Dim: pulg	Máximo	Mínimo
Medida span		
Número de dientes par medición	2	
Medida de control span	0.7946	0.7919
Medida entre pernos		
Diámetro del perno	0.375	
Medida de control er pernos	4.505	4.500

Tabla 5. Control de espesores para piñón

que se cumpla con el mínimo valor recomendado por AGMA. Por otro lado, se comprueba que la herramienta utilizada es estándar: 1.25/0.3/1.0 ISO 53.2 Perfil B. En la tabla 4, se resumen los datos del diseño del par de engranes.

Las dimensiones de control para los espesores de ambos engranes están contenidos en la tabla 5.

Las tolerancias geométricas para el piñón de acuerdo con AGMA y para una calidad con un generado Q10, son:

Excentricidad	0.00240 pulg.
Error de paso	0.00063 pulg.
Tolerancia de perfil	0.00087 pulg.
Tolerancia de avance	0.00077 pulg.

De igual manera y conforme con AGMA, el claro radial es 0.25/P=0.25/6=0.042 pulg y se puede asumir un mínimo de 0.15/P=0.15/6=0.025 pulg.

El claro radial entre el par de engranes está dado por la ecuación (10):

$$10 \quad Cl = CO - \frac{Dep}{2} - \frac{Drg}{2} = CO - \frac{Deg}{2} - \frac{Drp}{2}$$

Donde:
Dep, diámetro exterior del piñón
Drg, diámetro de raíz del engrane interno
Deg, diámetro exterior de engrane interno
Drp, diámetro de raíz del piñón

De esta manera, los claros radiales calculados para el presente diseño son: Cl = 0.057/0.015 pulg.

Donde el claro mínimo corresponde al claro radial entre el diámetro de raíz del engrane interno contra el diámetro exterior del piñón. Puede verse que no hay problemas de interferencias por este lado y, por tanto, el diseño es factible. Sólo habría que asegurar que no haya interferencia entre los radios en las raíces de las trocoides contra las esquinas del dentado sobre el diámetro exterior del piñón.

Para el presente diseño se tiene una relación de contacto transversal de m_p=1.807, (ver ecuaciones 11 y 12). El valor mínimo para un arreglo de engranes rectos es de 1.2 de acuerdo con AGMA. Los engranes internos normalmente tienen una relación transversal mucho mayor que la mínima requerida.

Una característica cinemática importante en el engranamiento entre un par de engranes es la velocidad de deslizamiento y el deslizamiento específico. El punto de contacto de los dientes se mueve a lo largo de la línea de acción y solamente en el punto de paso se tiene rodadura. En cualquier otro punto de contacto existe deslizamiento entre las superficies en el sentido perpendicular a la línea de acción.

$$11 \quad m_p = \frac{Ng + Np - 2CO\,sen(\phi_t')}{P_{BT}} \qquad 12 \quad P_{Bt} = \frac{\pi Dbp}{Np} = \frac{\pi Dbg}{Ng}$$

La velocidad de deslizamiento en un punto sobre la línea de acción, está expresada por medio de la ecuación (13):

$$13 \quad Vs = Vtp - Vtg$$

Donde:
Vs, Velocidad de deslizamiento, (pulg/seg)
Vtp, Velocidad tangencial del piñón, (pulg/seg)
Vtg, Velocidad tangencial del engrane, (pulg/seg)

Mientras que el deslizamiento específico está definido por las ecuaciones (14):

$$14 \quad SSp = \frac{Vtp - Vtg}{Vtp} \qquad SSg = \frac{Vtg - Vtp}{Vtg}$$

Donde:
SSp, Deslizamiento espec. del piñón, (pulg/seg)
SSg, Deslizamiento espec. del engrane, (pulg/seg)

El comportamiento de las velocidades de deslizamiento a lo largo de la línea de acción son un parámetro importante para asegurar un correcto engranamiento entre los engranes y ver posibles irregularidades cinemáticas relacionadas con la geometría.

A continuación se muestran los deslizamientos específicos del par de engranes de estudio para evaluar su cinemática, (ver figura 5). Puede observarse que ambos gráficos son prácticamente simétricos con respecto de la horizontal en el punto de rodadura. Esto significa que el diseño está bien balanceado. El piñón presenta el mayor deslizamiento específico en su perfil bajo, pero es un gráfico uniforme sin cambios abruptos, por lo que se valida la cinemática del diseño para el piñón y en conjunto con la geometría del engrane interno. Con ello, se concluye que el diseño original de este par de engranes es adecuado.

Finalmente, en la figura 6, se muestran los perfiles para ambos componentes y puede apreciarse que ambos perfiles son compatibles.

Diseño por resistencia de los piñones

De los datos del fabricante de los engranes internos, se sabe que el material utilizado es un acero AISI 4140, tratado y revenido, con una dureza superficial sobre la superficie del dentado de 285-325 BHN.

Para la selección del material de los piñones se contempla un acero AISI 4140, templado y revenido, con dureza superficial sobre el dentado de 342-390 HRC. Según AGMA, el piñón es el componente que más ciclos de trabajo acumula y por tanto está sujeto a un mayor desgaste, por lo que deberá tener una mayor dureza, al menos igual o mayor a 1.2 veces la dureza del engrane interno.

La velocidad máxima de elevación del plato es de 15°/seg, esto es 2.5 rpm. El par máximo para el movimiento de elevación tiene un valor de 15,000 lb-pie y, dado que dicho movimiento lo proporcionan los dos engranes internos, el par demandado para cada engrane interno resulta de 7,500 lb-pie. Esta condición le requiere

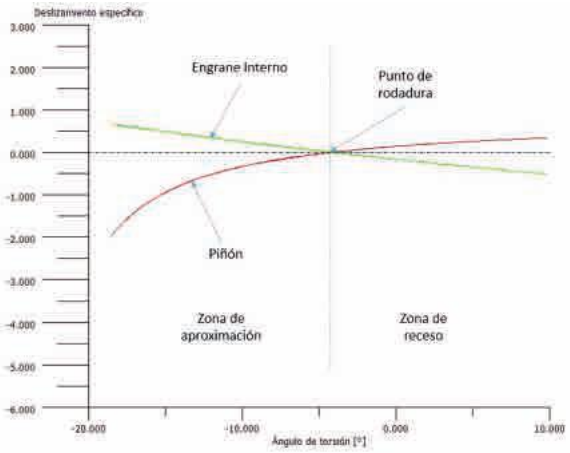


Figura 5. Deslizamientos específicos de engranes.

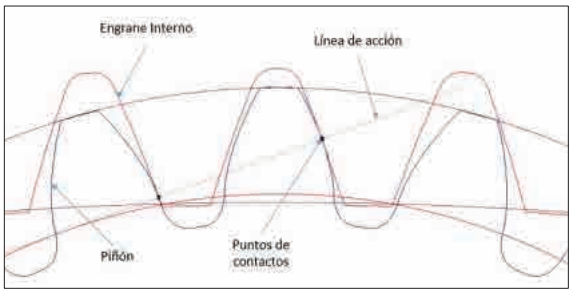


Figura 6. Gráfico del engranamiento de ambos elementos.

una potencia de 3.57 hp del servomotor. Así, se tiene que cada piñón transmite un par de 1,198.25 lb-pie a una velocidad de 15.65 rpm.

De acuerdo con AGMA por arriba de los 10,000 ciclos de vida se considera una vida infinita para los engranes en cuestión. Para la presente aplicación, se consideran 1000 horas de vida útil en ambos engranes, bajo las condiciones de actuales de operación, este valor equivale a un número de ciclos de trabajo mayor que el mínimo especificado. De igual manera, para la presente aplicación, se utiliza un factor de aplicación de 1.25.

AGMA no tiene definido el cálculo de vida para engranes internos, por tal motivo, se hace de acuerdo con la norma ISO 6336:2006 Método B [10], el cual se muestra en la tabla 6. En dicha tabla, se observa claramente que el engrane interno tiene factores de vida mayores que el piñón, como era de esperarse; sin embargo, ambos cumplen con la vida especificada.

Dim: pulg	Piñón	Engrane interno
Factor de seguridad por flexión (*bending*)	2.17	2.89
Factor de seguridad por fatiga superficial (*pitting*)	1.89	2.30

Tabla 6 – Factores de seguridad para los engranes

Figura 7. Piñones manufacturados

Figura 8. Ensamble de flechas y engranes internos en su pedestal

Los piñones fueron manufacturados con el diseño obtenido como se puede observar en la figura 7.

La figura 8, muestra el pedestal donde se alojan las flechas doble piñón rediseñadas ensambladas en los engranes internos. Cada piñón cuenta con cuatro cuñeros como una forma de respetar el espesor de anillo por debajo de las raíces de los dientes. La solución con una sola cuña comprometía el espesor mínimo del anillo por debajo de las raíces del dentado.

Las cuñas y la sección de la flecha fueron verificadas por resistencia mecánica a través de un análisis con el método de elementos finitos.

Actualmente la antena está operando satisfactoriamente con los piñones diseñados y manufacturados en el mercado local. Los niveles de ruido y vibración son normales y bajos. Antes de la reparación el edificio donde se ubica la antena se sembraba de manera preocupante y producía niveles de ruido altos.

Conclusión

En el presente artículo se ha mostrado una metodología para el diseño geométrico de un piñón para un engrane nuevo existente de la Antena ERIS. Se ha probado que mediante métodos convencionales de medición es posible realizar el diseño de este tipo de engranes. El diseño del piñón se ha desarrollado de tal manera que se dan los parámetros y las tolerancias necesarios para su manufactura.

Se puede concluir que para lograr el diseño de un engrane nuevo para un engrane existente, se requiere de un buen levantamiento dimensional y recopilación de la información existente, así como que el diseño del engrane se lleve a cabo tanto geométricamente, como por resistencia para asegurar su correcto funcionamiento.

Queda claro que estos diseños deben realizarse de acuerdo con la normativa que aplique a cada caso. Para el presente caso, fue necesario realizar el diseño geométrico con la normativa AGMA y el cálculo de resistencia con la normativa ISO, puesto que AGMA no tiene definido el cálculo de resistencia para engranes internos; esta situación es parte de los retos que demandan los problemas reales. De la misma manera, para llevar a cabo el presente trabajo, fue necesario utilizar herramientas de diseño computacionales.

Del análisis del diseño original del par de engranes, se concluye que dicho diseño es adecuado y se resolvió con engranes estándar con las mínimas modificaciones de perfil para la obtención del *backlash*. Los gráficos de los desplazamientos específicos, muestran un balanceo óptimo entre las velocidades de deslizamiento y, por tanto, da un indicador de que el diseño está factible. El cálculo de vida indica que los factores de seguridad calculados son adecuados para las condiciones de operación.

Finalmente, se comenta que el diseño de los piñones fue manufacturado, ensamblado y probado, y que los resultados fueron favorables conforme al diseño desarrollado y que hoy en día la antena ERIS está operando normalmente.

Agradecimientos
Se agradece a todo el personal de ECOSUR y del INEGI que participaron en la rehabilitación del tren de potencia de la antena ERIS, por el apoyo para el desarrollo del presente trabajo.

Fecha de recepción: 5 de julio de 2017
Fecha de aceptación: 5 de noviembre de 2017

Nomenclatura

MOB	medida entre pernos o esferas
SM	medida de la suma de paso
N	número de dientes totales del engrane
N_t	número de dientes entre pernos
N_s	número de espacios entre medida de suma de pasos
OD	diámetro exterior del engrane
OM	medida exterior
P	diámetro de paso transversal
P_n	diámetro de paso normal
R	radio de paso teórico
R_2	radio auxiliar para la medida entre pernos
R_b	radio de base
RD	diámetro de raíz
Rw	radio del perno o esfera para medición
TE	espesor transversal del diente al radio de referencia R
ϕ	ángulo de presión normal teórico
ϕ_2	ángulo de presión auxiliar durante la medición
ϕ_t	ángulo de presión transversal al radio de referencia R
ψ	ángulo de hélice teórico al diámetro de referencia R
ψ_β	ángulo de hélice base

Referencias

[1] Regalado I. y López R., Reverse engineering of pure involute cylindrical gears using conventional measurement tools, gear technology, enero-febrero de 2000.

[2] Kapelevich A. L., Measurement of directly designed gears with symmetric and asymmetric teeth, gear technology, enero-febrero de 2011.

[3] Zhang Q. y Kang J., The calculation and experiment for measurements over pins of the external helical gears with an odd number, International journal of precision engineering and manufacturing, Vol. 13, No. 12, pp. 2203-2208 of teeth, diciembre de 2012 / 2203.

[4] Zhan J. y Fard M., Iterative computation for measurement over pins of gears, Elsevier, diciembre de 2014.

[5] Schultz C. D., Reverse engineering, american gear manufacturers association, 10FTM09, octubre de 2010.

[6] Kumar A. y Jain P. K., Study of tooth wear on spur gear performance parameters using reverse engineering, international conference on production and mechanical engineering, diciembre de 2014, Bangkok, Thailandia.

[7] American Gear Manufacturers Association, ANSI/AGMA 2002-B88; Tooth thickness specification and measurement, 2014.
[8] Townsend P. D. (1991), Dudley´s gear handbook, Mc Graw Hill, segunda edición.

[9] Lynwander P. (1983), Gear drive systems, Marcel Dekker, Nueva York: Marcel Dekker.

[10] International Organization for Standardization, ISO 6336-1, 2, 3, 4, 5, 6

Ingeniería en soldadura: una necesidad de la industria nacional

Juan Manuel Salgado López[1], Abraham Silva Hernández*, Francisco Ignacio López Monroy*, José Luis Ojeda Elizarrarás* y Jesús Mauricio Tello Rico*

Resumen

En este trabajo se pretende mostrar, por medio de dos ejemplos de análisis de falla en componentes soldados por el proceso de arco eléctrico, la necesidad de diseñar y manufacturar teniendo en cuenta la metalurgia involucrada en la ingeniería de soldadura, para evitar errores como los encontrados en estos casos. Esto es importante en México, en especial en el estado de Querétaro, si consideramos que aquí se han asentado empresas aeronáuticas y automotrices, además de que en los estados vecinos existen empresas de la industria automotriz y otras más donde las uniones soldadas se consideran críticas. Además, con estos casos se pretende mostrar el quehacer de los conocimientos en la ciencia de materiales de la soldadura en la industria nacional; en ella, la oportunidad de mejora, los ahorros por reducción de piezas rechazadas y el mejorar la integridad y el desempeño de un componente dan paso a lograr el éxito de una empresa. En ambos casos, se muestran problemas en los que las grietas detectadas estaban localizadas al pie de las uniones soldadas o, en su defecto, en la unión soldada. Todo lo anterior ilustra problemas típicos de soldadura que pudieron evitarse con conocimientos de ingeniería de soldadura.

Palabras clave: soldadura, metales, análisis de falla, metalurgia, ciencia de materiales

Introducción

La soldadura es la tecnología utilizada para unir dos o más materiales en la manufactura del cuerpo de un componente industrial. Esta tecnología es aplicada en la construcción de varios componentes que utilizamos tanto en la industria como en nuestra vida diaria. La importancia que tiene queda más clara si observamos componentes como cascos de barcos, carrocerías de autos, reactores de las industrias química o petroquímica y ductos que transportan hidrocarburos, pero también si observamos las columnas que sostienen altos edificios, algunas uniones en puentes, escaleras de acero en los edificios de oficinas, tanques estacionarios o intercambiables de almacenamiento de gas para cocinar e incluso aplicaciones como la herrería en nuestros hogares. Queda claro, con la inspección visual de los componentes mencionados, que sus cuerpos son armados mediante la unión soldada de las distintas partes que los forman.

En la mayoría de los casos, los materiales a unir son metálicos, aunque también se ha logrado unir materiales poliméricos por medio de soldadura láser. Esto implica que existe una variedad de procesos de soldadura y aplicaciones muy amplia para distintos casos.

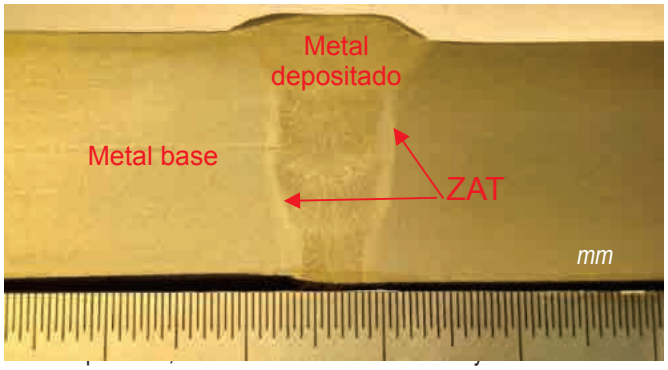
La tecnología de soldadura ha sido clave para lograr construir componentes como los mencionados anteriormente, pero se requiere que estas uniones soldadas sean confiables durante la vida útil. Esto es más claro si se piensa que, en el peor de los casos, fallas en las soldaduras de componentes como esos son causa de accidentes, o de paros en producción en el mejor en los casos. En este aspecto, la ingeniería de soldadura es clave para evitar imperfecciones o defectos en las soldaduras que son necesarias en la manufactura de distintos componentes. Esto es importante en México, en especial en el estado de Querétaro, si se considera que aquí se han asentado empresas aeronáuticas y automotrices, además de que en los estados vecinos existen empresas de la industria automotriz y otras más donde las uniones soldadas son consideradas críticas.

Para lograr obtener uniones soldadas sanas y confiables, es necesario comprender la física de los procesos de soldadura, así como la ciencia de materiales involucrada en la soldadura. A manera informativa, debemos aclarar que la ciencia de materiales en la soldadura se enfoca en el análisis microestructural del metal depositado y en la zona afectada térmicamente, así como en el diseño de uniones soldadas adecuadas y la definición del tipo de inspección no destructiva más apropiada para asegurar la calidad de la unión soldada [1,2]. No obstante, en la realidad de la industria, en muchas ocasiones, las funciones relacionadas con el diseño, inspección, supervisión y control de calidad de uniones soldadas son llevadas a cabo por personal que no posee la adecuada formación en tópicos referentes a la ingeniería de soldadura.

*Laboratorio de Metalografía y Análisis de falla. Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial: . Av. Pie de la Cuesta núm. 702, Desarrollo San Pablo, Querétaro, México.
[1]msalgado@cidesi.edu.mx

De manera muy simple, con el fin de poner en contexto al lector, puede decirse que, durante el proceso de soldadura de dos metales, se debe fundir un metal llamado *metal de aporte* y depositarlo en una ranura previamente hecha en los dos componentes metálicos a unir para dejar solidificar este metal depositado (figura 1). Para ello, se requiere que el calor sea conducido desde el metal depositado (metal de aporte), a través del metal de los componentes a unir, y después disipado hasta que se logre la solidificación total del metal de aporte. Este proceso induce a que las regiones más cercanas al metal depositado sufran de modificaciones microestructurales, las cuales modifican las propiedades mecánicas de estas regiones del metal base y hacen que sea donde se localicen algunos de los problemas comunes [2,3]. La macrografía mostrada en la figura 1 es un ejemplo de ello.

El papel de la ingeniería de soldadura es entender estos cambios y predecirlos para elegir tanto el proceso como el método de enfriamiento, así como el control para, con ello, evitar problemas que frecuentemente aparecen en las uniones soldadas.



Por otro lado, debido a la propia naturaleza del proceso, se pueden inducir defectos que, al interaccionar con el sistema de cargas presentes en el trabajo real del componente, llevan a fallas que, en el mejor de los casos, causan perdidas monetarias. De igual manera, es trabajo de la ciencia de materiales trabajar para evitar estas fallas y esta necesidad de aprender de las experiencias debe darse en el contexto de los conocimientos de la ciencia de materiales involucrada en el proceso de soldadura [4-9].

Este trabajo en particular se enfoca en procesos de soldadura por arco en acero y pretende demostrar la necesidad, en México, de los conocimientos, por medio de dos ejemplos de análisis de falla en componentes soldados por medio de arco eléctrico, las cuales pudieron evitarse con la apropiada ingeniería de soldadura implementada en el proceso de manufactura.

Caso 1. Análisis de falla en tanque para transporte de líquido

El primer caso consiste de un tanque de transporte de líquido, el cual fue recubierto en su interior por un polímero y presentaba evidencia de productos rojos de corrosión. Los tanques para transporte de líquido son manufacturados a partir de placas de acero que son dobladas y unidas por el proceso de soldadura en la parte longitudinal; con ello se forman anillos que también deben ser unidos por medio de soldadura en la sección radial. Es claro que el proceso de soldadura es muy importante en la manufactura de estos tanques y que, por lo tanto, se requiere de un conocimiento en ingeniería de soldadura para evitar fallas durante el trabajo de este tipo de componentes.

En este caso, se detectaron grietas múltiples y todas estaban localizadas al pie de los cordones de soldadura; como ejemplo, en las figuras 2A y 2B se observan las grietas en la superficie externa del componente donde existían fugas de líquido contenido dentro del tanque. En este mismo sentido, las figuras 3A y 3B muestran evidencias de productos de corrosión roja presentes en el interior recubierto del componente.

Figura 2A. Corte transversal que contenía una de las grietas típicas de este caso.
Figura 2B. Corte transversal que contiene otra de las grietas típicas de este caso.

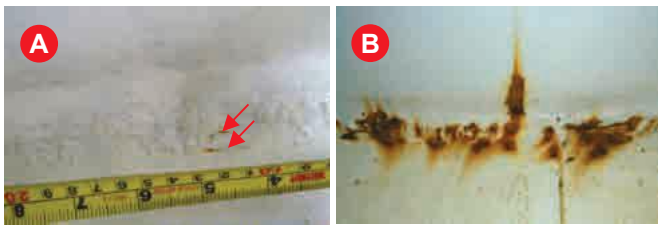


Figura 3A. Evidencia de productos de corrosión en el interior del componente en estudio.
Figura 3B. Evidencia de productos de corrosión en el interior del componente en estudio.

Cabe señalar que estos productos de corrosión que se observan en las figuras 3A y 3B estaban preferentemente localizados al pie de las uniones soldadas, o bien, en el cordón de soldadura. Por otro lado, en el cuerpo del tanque no fueron encontradas evidencias de productos de

corrosión, por lo que los análisis debieron enfocarse en las uniones soldadas.

En la figura 4A, se muestran las grietas de la superficie interna, detectadas por medio de la técnica no destructiva de partículas magnéticas. Un ejemplo de los resultados de esta técnica es mostrado en figura 4B. Cabe mencionar que, antes de poder realizar la inspección, fue necesario retirar el recubrimiento blanco que se puede ver en las figuras 3Ay 3B por medio de chorro de arena (*sandblast*); asimismo, fue necesario retirar el recubrimiento base para poder llegar al metal del cuerpo.

En las posiciones donde fueron localizadas grietas, fue necesario realizar cortes por medio de plasma para después poder realizar cortes transversales por medio mecánico para determinar la presencia de defectos en las uniones; además, fue en estas donde se realizó el análisis metalográfico. Estos cortes transversales fueron lijados y pulidos.

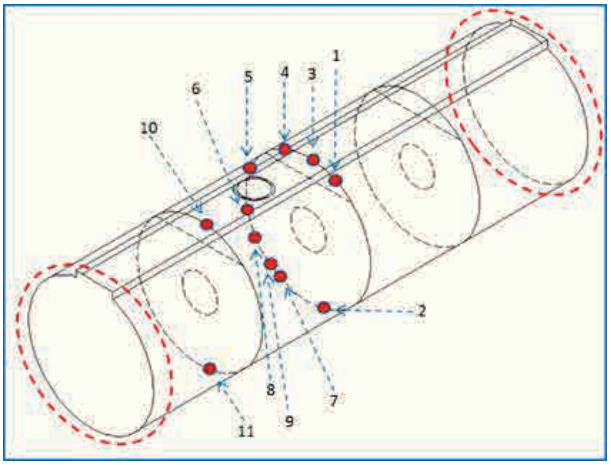


Figura 4A. Se ubican las grietas encontradas en el tanque para transporte de líquido.

Figura 4B. Ejemplo de una de las grietas detectadas por medio de la técnica no destructiva de partículas magnéticas.

En las figuras 5A y 5B, se muestran cortes transversales de dos uniones soldadas con grietas. Se puede observar que las grietas tienen su origen en la superficie tanto al pie de cordones de soldadura como en otro tipo de defectos de soldadura. Estas evidencias dejan en claro que defectos tales como una altura de refuerzo y una ranura pronunciadas actúan como concentradores de esfuerzo; si consideramos que este tanque estaba sometido a vibraciones, es claro que las grietas debieron crecer por el mecanismo de fatiga [6,10-13]. Esto fue confirmado por el patrón de fractura de la superficie de fractura. Estos hechos coinciden con lo reportado en la literatura.

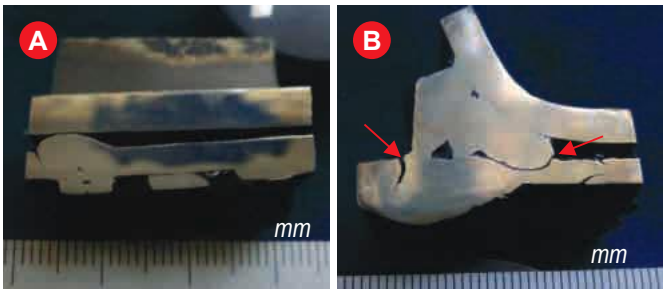


Figura 5A. Ejemplo de los cortes transversales en grietas detectadas por medio de prueba no destructiva. Se indican los orígenes de grietas y defectos de soldadura.

Figura 5B. Ejemplo de los cortes transversales en grietas detectadas por medio de prueba no destructiva. Se indican los orígenes de grietas y defectos de soldadura.

En las figuras 6A y 6B, se observan dos micrografías en cortes transversales en las zonas de las grietas. En el caso de la micrografía 6A, se observa que la grieta creció de la superficie del cordón de soldadura hacia el núcleo de la unión, a través del defecto denominado falta de fusión. De igual manera, se muestra claramente la presencia de productos de corrosión. En el caso de la figura 6B, se observa una grieta secundaria que creció a partir de un defecto superficial; esta micrografía es importante porque es evidencia del crecimiento de grietas a partir de defectos superficiales. Ambas micrografías muestran una microestructura en el metal base, que consiste de granos de ferrita equiaxiales, mientras que en el cordón de soldadura la microestructura consiste de colonias columnares de bainita rodeadas de ferrita.

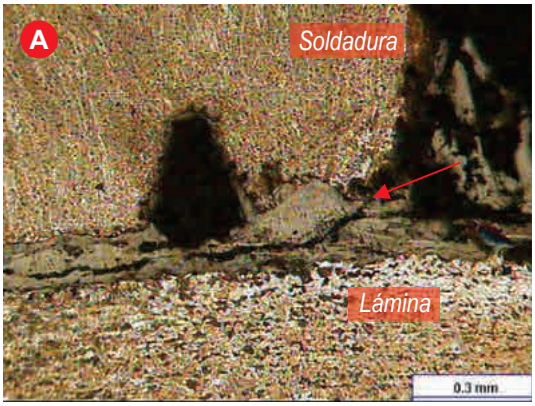


Figura 6A. Grieta que crece a partir del pie del cordón uniendo defectos de soldadura y que está cubierta por productos de corrosión.

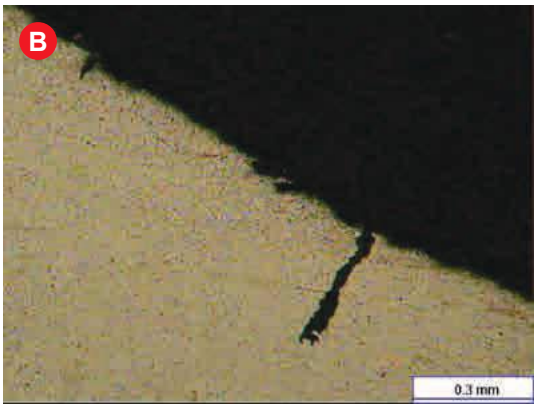


Figura 6B. Dos grietas que crecen a partir de la superficie externa, debido a defectos superficiales tales como deformación plástica o picaduras.

Las figuras 7A y 7B muestran las superficies de fractura de dos grietas encontradas en este componente. En ambos casos se observan picaduras por corrosión y evidencia de estriaciones por fatiga. Evidencias de este tipo fueron encontradas en las fracturas analizadas, por lo que se demostró que las grietas crecieron por fatiga, con lo cual puede decirse que todas las grietas crecieron por el mecanismo por fatiga [11-13].

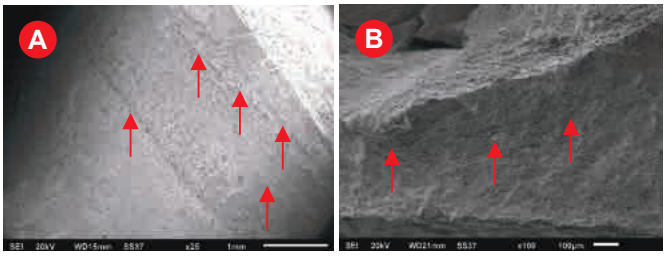


Figura 7A. Superficie de fractura de una de las grietas recubierta por productos de corrosión. Se observan estriaciones por fatiga.
Figura 7B. Una segunda superficie de fractura con estriaciones por fatiga.

En resumen, las evidencias demuestran que la falla del tanque, que se manifestó por fugas de líquido en la parte inferior del tanque, se debió a grietas que crecieron por el mecanismo de fatiga a partir de defectos de soldadura que actuaron como concentradores de esfuerzos, tales como faltas de fusión, faltas de penetración, escorias atrapadas, cortes de lámina, bordes muy pronunciados o defectos de soldadura.

Con este primer caso, se demuestra que desde el diseño es necesario considerar la ingeniería en soldadura en lo que respecta a la preparación de las uniones soldadas, así como la inspección no destructiva para detectar la presencia de discontinuidades como los aquí mostrados y, en caso de estar presentes, corregirlos; como pudo verse, estos defectos, al interactuar con esfuerzos cíclicos, conducen a fracturas. Además, puede decirse que, con el conocimiento suficiente en ingeniería de soldadura por parte de los ingenieros de proceso o de manufactura de este tipo de componentes, estas fallas pueden corregirse y prevenirse.

CASO 2. Análisis de falla en recubrimiento de aleación Co-Cr

El segundo caso consistió en determinar el mecanismo metalúrgico que originó la presencia de indicaciones encontradas por medio de inspección no destructiva, realizada en los componentes de níquel recubiertos de estealita (aleación de Cobalto-Cromo) de la industria aeroespacial; estos componentes son mostrados en las figuras 8A y 8B; en ellas, se indican las imperfecciones detectadas. Estas indicaciones consistían en grietas al pie de depósitos de estealita. Las grietas detectadas tenían su origen en la zona de fusión parcial, entre la estealita y el metal base, y crecían a través de la zona afectada térmicamente, aunque las grietas encontradas no penetraban al metal base.

Figura 8A. Muestra con depósito de estealita en la condición de entrega al laboratorio.

Figura 8B. Muestra la macrografía realizada en la imagen anterior. Se observan los cordones de soldadura del depósito de estealita.

En la figura 9A, se muestra como ejemplo el área donde fue llevado a cabo uno de los microanálisis de espectrometría de dispersión de energía (EDS) realizados en uno de los precipitados existentes en las grietas detectadas por medio de inspección no destructiva. La microscopía electrónica de barrido mostró que las grietas crecían uniendo precipitados interdendríticos; además, estos precipitados se encontraron preferentemente en la zona de fusión parcial. Algunos de estos precipitados fueron analizados por medio de microanálisis EDS y los resultados mostraron que estas eran carburos de tantalio, como se observa en la figura 9B. Esta evidencia demuestra la precipitación de carburos de tantalio de manera interdendrítica; de acuerdo con la literatura, esta precipitación es inducida por el calor de la soldadura [14-16]. .

Además, en la literatura técnica se ha demostrado que el agrietamiento por licuación en la zona afectada térmicamente se debe a que, en el metal base, experimenta un aumento en la temperatura del material entre la temperatura de *liquidus* (zona de fusión parcial) y la temperatura de *solidus* (metal base); por lo tanto, los microconstituyentes de menor punto de fusión de la microestructura sufren una fusión parcial y, entonces, en estas regiones donde existe líquido no es posible soportar los esfuerzos generados por la solidificación. En consecuencia, se generan grietas en las regiones donde existió este fenómeno [14-16].

Al analizar las evidencias encontradas, se pudo concluir que las indicaciones detectadas por el cliente en los especímenes en análisis se originaron por el mecanismo de agrietamiento por licuación en la zona afectada térmicamente, el cual se produjo por la combinación de los siguientes factores:

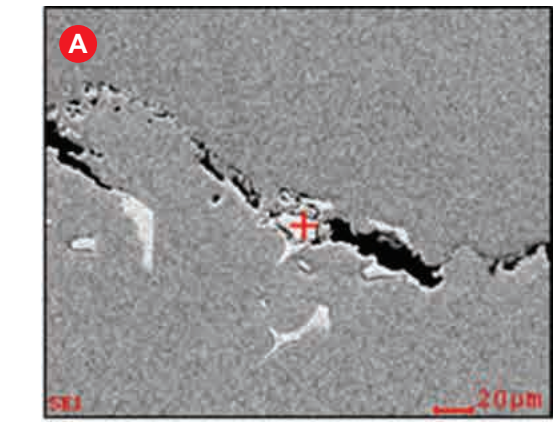


Figura 9A. Ejemplo del tipo de precipitado donde fueron realizados los microanálisis Espectroscopia de Dispersión de Energía en uno de los precipitados existentes en las grietas detectadas.

Figura 9B. Resultados del microanálisis Espectroscopia de Dispersión de Energía realizado en la partícula mostrada en la figura anterior.

1. Presencia de carbono en combinación con tantalio, wolframio, cromo, titanio.

2. Segregación de azufre en los límites de grano dendrítico.

En este segundo caso, se muestra cómo el conocimiento en ciencia de materiales se aplica para determinar el mecanismo que induce a la aparición de grietas en el metal depositado y cómo, a partir de esto, se pueden proponer parámetros de soldadura distintos para evitar la aparición de grietas por este tipo de mecanismo.

En este caso, se puede observar que los parámetros de soldadura tuvieron una influencia negativa en este tipo de aleación, ya que inducen el agrietamiento, y este tipo de defectos no es aceptable en la industria aeronáutica; por lo tanto, para evitar que estos problemas vuelvan a

presentarse, fue necesario realizar una investigación de la influencia de los parámetros de soldadura en la precipitación de carburos y en la generación de grietas en caliente como las que aparecieron en este caso para, con ello, evitar este tipo de defectos. Los resultados de esa investigación son propiedad de la empresa y utilizados en el proceso.

Conclusiones

Con estos ejemplos expuestos, se demuestra cómo las condiciones que llevaron a la falla de los componentes habrían sido completamente evitadas mediante el conocimiento de ingeniería de soldadura de parte del personal de ingeniería responsable de la realización y del control de calidad de dichas uniones. De esta manera, se habrían evitado las pérdidas económicas que representa la aparición de uniones soldadas inaceptables.

Además, mediante el segundo ejemplo, queda más claro que la estrategia de solucionar problemas de este tipo mediante la aplicación de conocimientos en ingeniería en soldadura es muy efectiva en la búsqueda de soluciones a necesidades específicas y de alto valor técnico para la industria instalada en el país, en especial en Querétaro. Entonces, se puede decir que, para empresas en las que la soldadura es clave para la integridad de sus componentes, es muy importante dominar los conceptos básicos de la ingeniería de soldadura para poder competir mediante la aplicación de los conocimientos en esta área.

Cabe mencionar que, a pesar de que previamente ha sido mencionada y ejemplificada la relevancia de la ingeniería en soldadura en la industria nacional, esta área no ha sido desarrollada ni difundida; esto a pesar de que existen instituciones nacionales que ofrecen servicios, posgrados e investigación en soldadura.

Bibliografía

1. Cahn RW y Haasen P (1983). Physical metallurgy, part II. *Elsevier Science Publishers*, *3*, pp. 987-990.
2. Colangelo VJ y Heiser F (1974). Analysis of metallurgical failures (retroactive coverage). *John Wiley & Sons, Inc.,* 361.
3. Gegel G, Hoefert D, Hirvela J y Oehrlein R (2013). Effect of weld repair on static and dynamic tensile properties of e357-t6 sand castings. *International Journal of Metalcasting*, *7*(4), pp. 43-48.
4. Deshmukh AR, Venkatachalam G, Divekar H y Saraf MR (2014). Effect of weld penetration on fatigue life. *Procedia Engineering*, *97*, pp. 783-789.
5. Yasir AS (2012). Study the effect of welding joint location on the fatigue strength and fatigue life for steel weldment. *Asian Transactions on engineering*, *2*(04).
6. Kim S, Jin K, Sung W y Nam S (1994). Effect of lack of penetration on the fatigue strength of high strength steel butt weld. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *8*(2), pp. 191-197.
7. Lin J, Ganguly S, Edwards L e Irving PE (2003). The effects of residual stress and HAZ on fatigue crack growth in MIG welded 2024 and 7150 Aluminium.
8. Wallace JF (1979). *A review of welding cast steels and its effects on fatigue and toughness properties*. Carbon and Low Alloy Technical Research Committee, Steel Founders' Society of America.
9. Juvonen P (2004). *Effects of non-metallic inclusions on fatigue properties of calcium treated steels*. Helsinki University of Technology.
10. Mashiri FR, Zhao XL, Hirt MA y Nussbaumer A (2007). Size effect of welded thin-walled tubular joints. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, *7*(01), pp. 101-127.
11. Ottersböck MJ, Leitner M, Stoschka M y Maurer W (2016). Effect of weld defects on the fatigue strength of ultra high-strength steels. *Procedia Engineering*, *160*, pp. 214-222.
12. Zamiri Akhlaghi F, Acevedo C, Nussbaumer A y Krummenacker J (2011). Investigation of technological size effects of welding on the residual stresses and fatigue life of tubular joints made of structural steels S355 and S690. In *Fatigue design 2011* (Núm. EPFL-CONF-174606).
13. Ekstrom DH y Munse WH (1973). *The effect of internal weld defects on the fatigue behavior of welded connections*. University of Illinois Engineering Experiment Station. College of Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign.
14. Zhong M, Sun H, Liu W, Zhu X y He J (2005). Boundary liquation and interface cracking characterization in laser deposition of Inconel 738 on directionally solidified Ni-based superalloy. *Scripta materialia*, *53*(2), pp. 159-164.
15. David SA, Siefert JA, DuPont JN y Shingledecker JP (2015). Weldability and weld performance of candidate nickel base superalloys for advanced ultrasupercritical fossil power plants part I: fundamentals. Science and technology of welding and joining, 20(7), pp. 532-552.
16. Rush MT, Colegrove PA, Zhang Z y Courtot B (2010). An investigation into cracking in nickel-base superalloy repair welds. In *Advanced Materials Research* (vol. 89, pp. 467-472). Trans Tech Publications.

Fecha de recepción: 14 de agosto de 2017
Fecha de aceptación: 10 de octubre de 2017

Tecnologías de frontera para ciudades inteligentes

Alejandro Manzano Ramírez[*1]
José Mauricio López Romero[*]

Introducción

El término *ciudad* puede tener varias definiciones; sin embargo, en principio se trata de aquella área urbana que ostenta una alta densidad poblacional y en la cual predominan fundamentalmente los servicios y las industrias, mientras que las actividades económicas primarias se realizan, sobre todo, en otras regiones. Por otra parte, el término *ciudad capital* puede ser aplicado a los centros urbanos que son oficialmente designados para las ciudades importantes o centrales de un territorio. En general, la ciudad capital adquiere ese rango por varias razones, como ser la sede del gobierno en sus diferentes formas, ser la ciudad más grande y populosa del territorio, ser la ciudad donde se lleva a cabo el mayor número de actividades económicas o por ser una ciudad con alto perfil turístico dentro de ese territorio.

La palabra ***ciudad*** proviene del latín *civitas* y es el área urbana que presenta una **alta densidad de** población; está conformada por habitantes que **no suelen dedicarse a las actividades agrícolas**. La diferencia entre las ciudades y otras entidades urbanas la dará entonces la densidad poblacional y el estatuto legal, entre otros factores.

¿Qué se entiende por **ciudad inteligente** (CI)? La respuesta no es del todo fácil ni hay una universalmente aceptada. El término *ciudad inteligente* puede significar cosas diferentes para diferentes personas. Con base en esto, la conceptualización varía de una ciudad a otra y de un país a otro, dependiendo del nivel de desarrollo, voluntad de cambio y reforma, recursos y deseos de los habitantes de la ciudad.

Así, una ciudad inteligente tendría una definición diferente en Asia, en Europa o América Latina. Sin embargo, algunos límites pueden ser útiles para guiar el desarrollo de las ciudades en esa dirección. En la imaginación de cualquier ciudadano de Asia, Europa o América Latina, una ciudad inteligente debe cumplir con una lista de requerimientos y necesidades de infraestructura y servicios que se adapten a su nivel de deseos. Para satisfacer tales necesidades, los urbanistas intentan, idealmente, desarrollar un ambiente urbano integral en cuatro ejes el desarrollo: *1)* infraestructura institucional, *2)* infraestructura física, *3)* infraestructura social e *4)* infraestructura económica. El desarrollo de una CI puede ser una meta a largo plazo: las ciudades pueden trabajar para desarrollar paulatinamente la infraestructura necesaria y agregar de manera sucesiva capas de "inteligencia" a dicha infraestructura. Se podría afirmar que el propósito de una CI es promover una infraestructura básica y una calidad de vida decorosa para sus ciudadanos, en un ambiente limpio y sostenible, a través de aplicaciones "inteligentes" que atiendan las necesidades más imperiosas.

El principal punto es el desarrollo sostenible e incluyente. De esta manera, es muy deseable la creación de modelos de desarrollo para CI susceptibles de ser replicados y que actúen como punto de referencia para otras ciudades. En consecuencia, una CI es aquella en la cual se hace un uso intensivo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), con una visión integral para el tratamiento de datos generados. De esta manera, las TIC se presentan como parte fundamental para afrontar los grandes retos de los núcleos urbanos y deben entenderse como una oportunidad para responder a los retos ambientales relacionados con el cambio climático, el incremento demográfico y la incertidumbre del crecimiento económico, a través de una gestión eficiente de los servicios urbanos y sociales.

*Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Querétaro. Libramiento Norponiente núm. 2000, Real de Juriquilla, Querétaro, Qro.
[1]amanzano@cinvestav.mx

Desde la perspectiva de gobierno, el desarrollo de ciudades inteligentes puede ser una nueva y audaz iniciativa. Entre sus propósitos puede estar el fomento al desarrollo de tecnologías que puedan ser replicadas desde la industria, a fin de disparar el desarrollo de otras ciudades inteligentes. Entre los elementos básicos de la infraestructura en una ciudad inteligente se pueden enlistar, entre otros:

i. Movilidad urbana eficiente y transporte público
ii. Vivienda accesible, especialmente para los pobres
iii. Buena gobernanza, especialmente e-gobernanza y participación ciudadana
iv. Medio ambiente sostenible; suministro adecuado de agua
v. Suministro de electricidad asegurada
vi. Saneamiento, gestión de los desechos sólidos
vii. Seguridad de los ciudadanos, en particular de mujeres, niños y ancianos
viii. Salud y educación

En las siguientes secciones, se describen algunos de los requerimientos tecnológicos de las CI, poniendo en relieve cómo las tecnologías cuánticas y el desarrollo de nuevos materiales inciden en el desarrollo y la gestión de las CI.

Movilidad vehicular en una CI

Es de esperar que una CI cuente con vialidades bien diseñadas para el óptimo desplazamiento de vehículos de todo tipo, así como para el transito peatonal. Además de lo anterior, dado el dinamismo de las grandes urbes, el control del flujo vehicular debe responder en tiempo real a las condiciones vehiculares del momento. De esta manera, es deseable que, en una CI, los tiempos de los semáforos optimicen los desplazamientos vehiculares, a efecto de reducir los tiempos de traslado y mejorar la productividad, de manera que se propicie el ahorro de combustible, con la subsecuente reducción en la emisión de gases contaminantes. Para un sitio determinado en una CI, los tiempos de coordinación en los semáforos, a fin de maximizar la eficiencia en el desplazamiento del parque vehicular, dependen de la hora del día, del día de la semana, de la temporada del año e inclusive de la realización de eventos masivos o de la ocurrencia de accidentes o de otros factores que afecten la movilidad vehicular. Para un sistema sumamente complejo como el descrito anteriormente, el monitoreo en tiempo real de la posición y el desplazamiento de los vehículos puede generar una base de datos sumamente útil. La aplicación de modelos de movilidad que permitan simular el comportamiento del flujo vehicular en multiplicidad de condiciones es una herramienta valiosa para optimizar el control de los semáforos.

Ahora bien, la información generada en el monitoreo de la posición y el desplazamiento de cada vehículo debe ser centralizada en un Centro de Control de Movilidad (CCM), encargado del análisis, a través de modelos matemáticos, de las condiciones del flujo vehicular. En el CCM se determinan, entre otras cosas, los valores de los parámetros en el control de los tiempos de los semáforos que maximizan la movilidad del parque vehicular. El lazo de control puede ser completado si cada semáforo de la ciudad responde directamente al comando del CCM en tiempo real.

Un control inteligente de la movilidad en una CI debe ser lo suficientemente versátil para dar prioridad, en momentos determinados, al desplazamiento de vehículos de emergencia, ya sea ambulancias, bomberos, seguridad pública, etcétera. Claramente, el CCM es una instalación estratégica, por lo cual debe contar con todos los elementos de seguridad física e informática que garanticen su correcta operación. El desarrollo de herramientas de frontera para la protección de datos es altamente deseable para mantener la seguridad informática en este tipo de instalaciones.

Red inteligente de energía eléctrica (RIEE) en UNA CI

Hay un creciente interés, ciertamente bien fundamentado, en aprovechar al máximo las fuentes de energías limpias para minimizar el impacto negativo de la actividad humana para el medioambiente. Entre las fuentes de energía renovables más importantes destaca, sin duda, la radiación solar. En este sentido, cabe recordar que el desarrollo de nuevos materiales para la fabricación de fotoceldas de alta eficiencia a bajo costo se encuentra entre los temas de investigación más dinámicos a nivel internacional. Para el mejor aprovechamiento de la energía fotovoltaica, se busca almacenar la energía generada en condiciones de mayor insolación para ser liberada en momentos de poca o nula radiación; sin embargo, uno de los grandes desafíos tecnológicos estriba precisamente en el desarrollo de dispositivos eficientes y poco contaminantes para el almacenamiento de energía.

Una alternativa que da la vuelta a esta problemática consiste en suministrar la energía fotovoltaica generada en condiciones de alta insolación, o generada por otras fuentes alternativas de energía, a la red pública. Cabe señalar que dicho proceso de aporte de energía eléctrica debe hacerse de manera ordenada y coordinada, ya que las redes de energía eléctrica son sistemas complejos en los que el balance entre el aporte y el gasto de energía debe ser mantenido cuidadosamente, a efecto de mantener la estabilidad de la red. En esta línea de ideas, es preciso mantener un monitoreo constante y en tiempo real del estado eléctrico que guarda la red, con el propósito de controlar el aporte de energía a la red eléctrica pública proveniente de fuentes alternativas. Para lo anterior, se requiere de la instalación de sensores distribuidos en la red eléctrica que midan continuamente la tensión y la corriente eléctrica para conocer el comportamiento de la red en todo punto y en todo momento.

Paralelamente a la red de distribución de energía, se requiere de una red de comunicaciones distribuida a lo largo y ancho de la región de cobertura. Lo anterior, a efecto de que la información generada en los sensores se transmita a un Centro de Control Eléctrico (CCE) para su análisis y uso en modelos de comportamiento de redes eléctricas. Con el apoyo de dichos modelos, en el CCE se toman las decisiones para operar y mantener el óptimo desempeño de la red eléctrica. El conocimiento pormenorizado del estado que guarda la red y su control automático permiten la incorporación, de manera ordenada y controlada, de contribuciones energéticas provenientes de fuentes de energía renovables. A este tipo de redes eléctricas se les conoce como redes inteligentes de energía eléctrica (RIEE). Las RIEE son, pues, redes eléctricas altamente sensorizadas y automatizadas.

Al igual que el CCM, las instalaciones del CCE son también estratégicas para la CI y deben contar con todos los elementos de seguridad física e informática que el caso amerita.

Las ciudades inteligentes son ciudades hiperconectadas

Como se mencionó anteriormente, la movilidad vehicular y la utilización de fuentes alternas de energía requieren de una red de comunicación de amplia cobertura con atributos que pueden resumirse en rapidez, eficiencia, seguridad y capacidad de manejo de grandes volúmenes de información. Algoritmos de inteligencia artificial o aprendizaje de máquina deben ser incorporados de manera intensiva en los procesos que están detrás de la gestión de una CI.

Una CI sensorizada e hiperconectada es la plataforma ideal para la operación del Internet de las

cosas (IoT). Con el IoT se toman un gran número de decisiones sin intervención humana y en tiempo real para mejorar la competitividad y para reducir la traza de carbono que imprimen los procesos. Una CI debe contar con un Centro de Control y Monitoreo de la Red de Telecomunicaciones (CCMRT).

Criptografía cuántica para una ciudad inteligente

El avance acelerado de las últimas décadas en tecnologías de información y comunicación (TIC) nos pone ante panoramas de conectividad que eran, hasta hace poco, insospechados. Extrapolando dicho avance, concebimos una CI como una ciudad hiperconectada, sensorizada, automatizada y colaborativa. En tales escenarios, es de esperar que, paralelamente, aparezca gran interés, por parte de grupos maliciosos, en dirigir ataques informáticos contra una CI. En este sentido, la integridad y confidencialidad de los datos que transiten por las redes de comunicación de una CI deben tener la mayor de las prioridades. La pérdida o alteración de algunos de los datos pueden comprometer seriamente la seguridad y el funcionamiento de la CI.

La protección de la integridad de la información en una CI debe ser atendida con los mejores avances de la ciencia y la tecnología. En este punto, cabe recordar que la criptografía convencional, hasta ahora utilizada masivamente, ha dado muestras de vulnerabilidades ante sofisticados ataques informáticos perpetrados por organizaciones altamente tecnificadas. En este orden de ideas, la criptografía cuántica (CC) aparece como la mejor solución para proteger la integridad de los datos que genera y procesa una CI. La CI debe tener capacidad de resistir a los ataques informáticos más sofisticados y agresivos de los que se tenga registro; es precisamente en esto que la CC puede aplicarse. La CC tiene incluso la potencialidad de resguardar la integridad de la información en escenarios en los cuales se use tecnología aún no disponible (tales como memorias cuánticas).

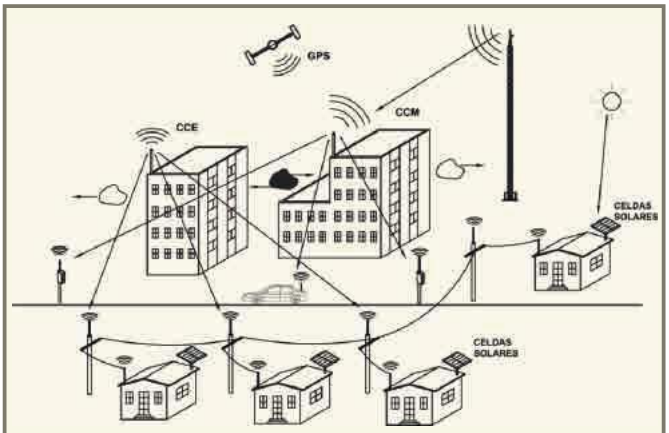
Relojes atómicos para ciudades inteligentes

Las redes de comunicación incorporan diferentes tipos de relojes para el control de los procesos de digitalización, transporte, recepción y recomposición de la información, ya sea de datos, de audio o de video. A mayor nivel de sincronía en la red, mayor capacidad de manejo de información.

Típicamente, los niveles jerárquicos de mayor sincronía en una red de comunicaciones se mantienen con la incorporación de relojes atómicos, los cuales se encargan de mantener la sincronía de la red. La auto-consistencia en la sincronía de la red es importante, pero también lo es la consistencia entre redes, lo cual se logra utilizando referencias internacionales de tiempo; típicamente, el sistema GPS es el eslabón intermediario para lograr lo anterior.

Los esquemas de sincronía típicamente utilizados en las redes de comunicación convencionales tienen fuertes inconvenientes para ser utilizados en la red de comunicación de una CI; esto se debe a varios factores: en primer lugar, es importante hacer notar que las señales del sistema GPS (o el Sistema Galileo o el Sistema GLONASS) son fácilmente interferidas con equipos comerciales que pueden ser adquiridos por cualquier persona. Lo anterior abre ventanas de vulnerabilidad muy peligrosas para la operación de las redes de comunicación de una CI, así como para los sistemas de monitoreo de posición y desplazamiento del parque vehicular.

Dado que tanto la red de comunicaciones como el sistema de monitorio del comportamiento vehicular son plataformas tecnológicas transversales para una CI, es altamente recomendable que la CI cuente con una infraestructura donde se mantenga la referencia de tiempo de alta exactitud. Dicha referencia no solamente es de primerísima importancia para garantizar la sincronía en la red de comunicaciones, sino también para garantizar el buen funcionamiento del sistema de monitoreo del flujo vehicular.



Esquema general del funcionamiento de una ciudad inteligente.

Óptica cuántica para ciudades inteligentes

La capacidad de transporte de información aumenta en la medida que la frecuencia de digitalización de la información crece. En el transporte de datos por fibra óptica, el proceso de acortamiento de los tiempos de la duración de pulsos y de la frecuencia tiene un límite impuesto por las características de la fibra óptica instalada en la red. Una forma de dar la vuelta a esta limitación es acortar la duración de pulsos e incrementar la frecuencia hasta valores bien soportados por la fibra óptica, pero aumentando el número de canales ópticos en cada fibra; esto significa que cada "color" que viaja por cada hilo de la fibra es utilizado como un canal de comunicación. En la medida que aumenta el número de "colores" que son inyectados en la fibra, aumenta también la capacidad de transporte de información por la red. Lo anterior implica la subdivisión en segmentos cada vez más finos de la ventana de comunicaciones de la fibra óptica (típicamente de alrededor de los 1,500 nm). La limitación estriba en la capacidad para incrementar el número de frecuencias ópticas dentro en la ventana de comunicaciones sin que estas frecuencias se traslapen unas con otras. Para lo anterior, es deseable desarrollar las tecnologías cuánticas que permitan la generación de frecuencias ópticas de muy alta estabilidad, de espectro muy angosto y de frecuencia muy bien conocida. Los peines de frecuencia son de generación y medición de frecuencias ópticas ultra-estables y ultra-angostas.

Las instalaciones del CCMRT deben contar con los sistemas de generación y medición de las frecuencias ópticas para monitorear y controlar las frecuencias ópticas que circulan por la red de comunicaciones. Lo anterior dará una gran capacidad para el transporte de grandes volúmenes de información, característica de una CI hiperconectada y colaborativa.

Aportes del CINVESTAV

Considerando lo anterior, la Unidad Querétaro del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) se ha planteado el objetivo de desarrollar el Laboratorio de Tecnologías Cuánticas para las Comunicaciones (LaTeC2), a fin de contribuir en el desarrollo de Querétaro como una CI desde una plataforma transversal, como lo son las comunicaciones. Los cuatro ejes principales de investigación y desarrollo del LaTeC2 son: relojes atómicos, peines de frecuencia, gravímetros cuánticos y criptografía cuántica, además de desarrollar nuevos materiales con propiedades de degradación de contaminantes volátiles. La manipulación de sistemas cuánticos individuales es el denominador común de las líneas de investigación del LaTeC2. El desarrollo de relojes atómicos de muy alto nivel de exactitud habrá de apuntalar la infraestructura del Estado en el ámbito de las mediciones de tiempo y frecuencia para propósitos científicos y aplicaciones tecnológicas altamente demandantes. Así mismo, las líneas de investigación y desarrollo del LaTeC2 se apoyan fuertemente en la óptica cuántica, con la cual es posible la generación de frecuencias ópticas de altísima precisión, mismas que pueden ser usadas como referencias muy estables en la operación de redes de comunicación. La óptica cuántica, presente también en el desarrollo de métodos de criptografía cuántica, se agrega a las capacidades tecnológicas para la salvaguarda de información altamente sensible. Con estos desarrollos la Unidad Querétaro del Cinvestav se suma al esfuerzo del Estado para el desarrollo de capacidades científicas y técnicas de frontera con el propósito de mantener a la región como la de mayor crecimiento económico del país.

Fecha de recepción: 21 de julio de 2017
Fecha de aceptación: 31 de octubre de 2017

Educación y mercado de trabajo en el sector aeronáutico del estado de Querétaro, México

Rolando Javier Salinas García*

Resumen

En el presente artículo, se lleva a cabo un análisis del sector aeronáutico de Querétaro y la dinámica de su mercado de trabajo a partir de dos instituciones clave en la formación de profesionales orientados a este sector industrial. Una de estas instituciones corresponde al nivel medio superior: CONALEP Aeronáutico Bicentenario de Querétaro; la otra pertenece al nivel superior: Universidad Aeronáutica en Querétaro (UNAQ). La idea central que expone este artículo es que el desarrollo del sector aeronáutico de Querétaro no puede entenderse solamente a raíz de la llegada de empresas ligadas a este sector industrial; lo que se sostiene es que las instituciones de educación referidas desempeñan un papel clave no sólo en la formación profesional de los trabajadores que requieren las firmas aeronáuticas localizadas en Querétaro, sino que también han sido un factor importante para la atracción de inversión extranjera directa (IED) en aeronáutica, sobre todo en el caso de la UNAQ. En suma, lo que se expone es que una parte del desarrollo de la industria aeronáutica en Querétaro puede explicarse a partir del proceso de consolidación de su infraestructura educativa, la cual ha impactado de manera significativa la dinámica del mercado de trabajo de este sector industrial.

Palabras clave: sector aeronáutico, formación profesional, inversión extranjera directa

*Profesor/Investigador y Coordinador de la Unidad Multidisciplinaria de Estudios sobre el Trabajo y de la Maestría y Doctorado en Estudios Multidisciplinarios sobre el Trabajo (Programas PNPC-CONACYT) de la Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Querétaro. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI, Nivel 1). Contacto: javier.salinas.uaq@gmail.com

I. La UNAQ: un caso de éxito dentro de la formación aeronáutica en México

La Universidad Aeronáutica en Querétaro (UNAQ) es una institución pública de educación superior especializada en formaciones aeronáuticas; tuvo su origen a mediados del año 2005 e, inicialmente, su nombre fue Universidad Nacional Aeronáutica en Querétaro. La UNAQ nació a raíz de que el gobierno del estado de Querétaro, respaldado por el gobierno federal, participara en una contienda internacional con el objetivo de atraer el interés de Bombardier Aerospace. Esta empresa de origen canadiense, fabricante de aeronaves ejecutivas y comerciales, es una firma líder en el sector aeronáutico con más de cien años de experiencia. Para que esta fabricante de equipo original (OEM, por sus siglas en inglés) aeronáutica se estableciera en la entidad, un equipo conformado por autoridades y académicos se dio a la tarea de investigar los beneficios y requerimientos que este proyecto implicaba. De esta forma, se podría contar con elementos que permitieran analizar y decidir la viabilidad de incursionar de manera diferente en este sector industrial. Como resultado de este ejercicio, en octubre de 2005 se anunció la llegada de Bombardier Aerospace a Querétaro, con lo que se dio paso a la creación del primer clúster de manufactura aeronáutica en México (Gutiérrez de Velasco, 2017 y 2016b).

Sin embargo, la UNAQ no nace directamente como la institución que se conoce hoy en día; esta Universidad se incubó en lo que se denominó programa de entrenamiento intensivo (PEI), cuyo objetivo era atender las demandas iniciales de formación de mano de obra de Bombardier Aerospace. A partir del PEI, se comenzaron a delinear estrategias y a gestionarse los recursos necesarios para habilitar instalaciones, así como adquirir maquinaria y equipo, en su mayoría de origen extranjero. A la par de estas acciones, se conformó un equipo de profesores-instructores capaces de impartir, por primera ocasión en México, cursos para la manufactura aeronáutica. Como resultado de este esfuerzo, en el mes de enero de 2006, el PEI abrió sus puertas a la primera generación de estudiantes; el resultado inicial obtenido de este esfuerzo fue el primer arnés ensamblado por estudiantes del PEI en Querétaro con calificación de cero defectos. Al mismo tiempo, el personal docente continuaba capacitándose y logrando las certificaciones que demanda la industria aeronáutica.

Con esta estrategia de formación y calificación de profesores, Querétaro se convirtió en el primer estado de la República mexicana en contar con profesores certificados como instructores en las áreas de ensambles eléctricos y estructurales para aeronaves. De esta forma, se sentaron las bases para el desarrollo a largo plazo de la UNAQ (Gutiérrez de Velasco, 2017).

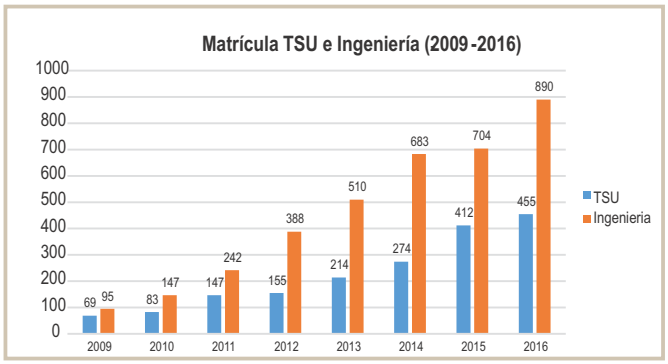
El arribo de más firmas aeronáuticas a la entidad trajo consigo nuevas demandas de capacitación, tales como maquinado mediante técnicas de control numérico, laminado y materiales compuestos, entre otras, lo cual implicó la necesidad de crear una institución de educación superior especializada en formaciones aeronáuticas (Gutiérrez de Velasco, 2016a). Fue así que, el 23 de noviembre de 2007, se creó la Universidad Nacional Aeronáutica en Querétaro (UNAQ) como un organismo público descentralizado del gobierno del estado de Querétaro, con personalidad jurídica y patrimonio propio, cuyas instalaciones estarían localizadas a un costado del Aeropuerto Internacional de Querétaro (AIQ). Con la dirección general de Jorge Enrique Leonardo Gutiérrez de Velasco Rodríguez, rector fundador de la institución, se va consolidando la Universidad y se crea el H. Consejo Directivo de la UNAQ, su órgano máximo de gobierno. Otro cambio importante se da en 2012, cuando se modifica su nombre: de Universidad Nacional Aeronáutica de Querétaro a Universidad Aeronáutica de Querétaro, de manera que queda eliminada la palabra "nacional", contenida inicialmente en su decreto de creación.

I.1. Programas educativos ofertados por la UNAQ y su relación con el mercado de trabajo

La UNAQ ofrece diferentes opciones de formación en distintas modalidades educativas, todas especializadas en el campo aeroespacial. Esta oferta incluye:

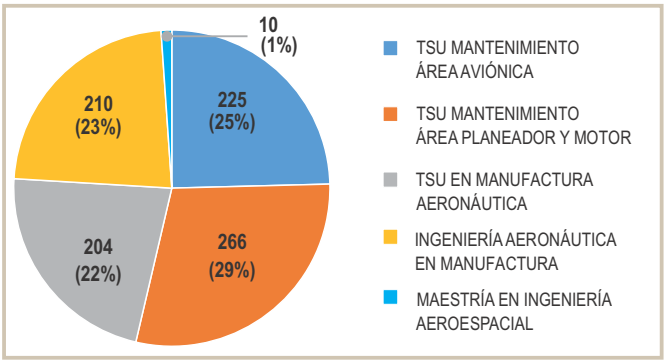
- **a.** Entrenamiento para el trabajo en las áreas de estructuras, maquinados, componentes eléctricos, materiales compuestos y pintura.
- **b.** Tres especialidades para Técnico Superior Universitario en las áreas de *1)* mantenimiento de aeronaves; *2)* aviónica y *3)* manufactura de aeronaves.
- **c.** Tres planes de licenciaturas en ingeniería: *1)* Ingeniería Aeronáutica en Manufactura; *2)* Ingeniería Electrónica y Control de Sistemas de Aeronaves, e 3*)* Ingeniería en Diseño Mecánico Aeronáutico.
- **d.** Formación a nivel posgrado: *1)* Maestría en Ingeniería Aeroespacial y 2) Maestría en Ciencias de la Ingeniería Aeroespacial.
- **e.** Desarrollo profesional y educación continua con cursos de: 1) Recuperación de Licencia (PTA); 2) Manufactura Aeronáutica; 3) Fundamentos de Aeronáutica; 4) Operaciones Aeronáuticas y Seguridad Aérea, entre otros. Próximamente, la UNAQ ofrecerá el primer curso de formación de sobrecargos.

La evolución general de la matrícula de la UNAQ de enero de 2009 a diciembre de 2016, para los programas de Técnico Superior Universitario (TSU) e ingeniería, ha tenido un aumento considerable y va de la mano con el desarrollo del sector aeronáutico en el estado de Querétaro. En la gráfica 1, puede identificarse progresivamente el marcado interés que siguen despertando los programas educativos, de TSU e Ingeniería; desde el año 2012, la proporción entre estudiantes inscritos de los programas de ingeniera *versus* los de TSU es aproximadamente 2:1. Esto sigue evidenciando el problema del poco reconocimiento social que persiste en el nivel TSU, a pesar de que como se verá más adelante, los egresados de dicha modalidad educativa obtienen empleo en el 91% de los casos antes de seis meses de haber concluido sus estudios.

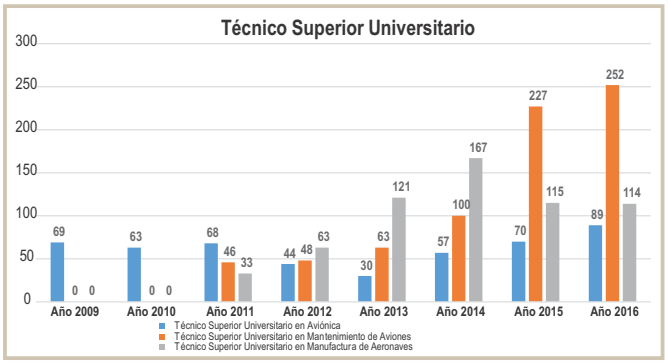


Gráfica 1. Matrículas TSU e ingeniería (2009-2016)
Fuente: elaboración propia con base en la información recopilada en trabajo de campo (2017).

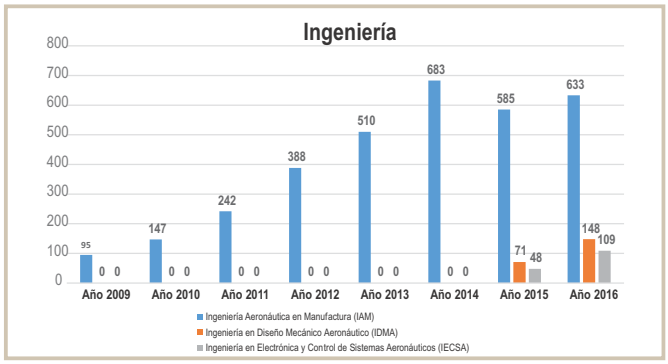
Como se puede observar, el comportamiento de las matrículas de TSU e ingeniería va de la mano de la llegada de nuevas empresas aeronáuticas a la entidad. Hasta el mes de agosto de 2016, el total de egresados de TSU, ingeniería y posgrado alcanzó un total de 915; es interesante destacar que el nivel TSU fue del que más alumnos egresaron, con 695, seguido por el nivel de ingeniería, con 210, y por último posgrado, con 10. Por otro lado, el comportamiento de egresados por especialidad brinda una idea de cómo se ha comportado la demanda de mano de obra por parte del sector aeronáutico en Querétaro y el país (gráfica 2).



Gráfica 2. Egresados por especialidad de TSU e Ingeniería (2009-abril 2016).
Fuente: Programa de seguimiento de egresados UNAQ, 2017.



Gráfica 3. Matrícula TSU por especialidad (2009-2016)
Fuente: Programa de seguimiento de egresados UNAQ, 2017.



Gráfica 4. Matrícula Ingeniería por especialidad (2009-2016).
Fuente: Programa de seguimiento de egresados UNAQ, 2017.

¿A qué se debe este comportamiento en el egreso de los estudiantes de la UNAQ? Básicamente son dos las razones. La primera es temporal: el egresado de TSU concluye su plan de estudios en dos años, mientras que al de ingeniería le toma cuatro. La segunda razón es por la demanda de las empresas aeronáuticas que llegaron inicialmente a la entidad; a razón de ello, la UNAQ tuvo en sus comienzos la demanda inmediata de formar rápidamente y con calidad al personal que las empresas relocalizadas necesitaban, el cual correspondía, principalmente, a este nivel de estudio. Además, mientras las opciones de TSU fueron aumentando desde 2011, en el caso de las ingenierías, desde al año 2009 hasta el 2014, los únicos estudiantes de ingeniería de la UNAQ correspondían al programa de Ingeniería Aeronáutica en Manufactura. Esto se debió a la dificultad para identificar las nuevas vocaciones o tecnologías que el sector demandaba y fue hasta septiembre 2015 que se amplió la oferta educativa de ingeniería en la institución. Esto permitió el incremento paulatino de la matrícula para este nivel educativo.

Cabe mencionar que los primeros egresados de la UNAQ se dieron hasta el año 2011 y correspondían al nivel TSU, mientras que la primera generación de Ingeniería egresó hasta enero de 2013. Un dato importante que resaltó en el trabajo de campo en la UNAQ es el hecho de que el interés principal de elegir una carrera de TSU por parte de los potenciales aspirantes a ingresar a la UNAQ corresponde a que son programas de corta duración que les permiten insertarse en el sector laboral con mayor rapidez. Esto no implica que descarten continuar con sus estudios a nivel ingeniería, ya que el egresado de TSU puede optar por completar un número determinado de créditos y materias para obtener, de igual forma, el título de ingeniero. De hecho, completar sus estudios de ingeniería es una opción que no se descarta para este nivel educativo.

No obstante esta aclaración, las carreras de TSU se han estancado en cuanto al incremento de la matrícula, a pesar de que desde 2011 se amplió la oferta de especialidades dentro de este programa de estudio, a diferencia de las ingenierías, que tan sólo en la generación 2016 cuentan con una matrícula de 890 estudiantes, frente a 455 de TSU. Por último, es interesante ver que, desde una perspectiva de género, los estudiantes que optan por estudiar una carrera dentro de la UNAQ son principalmente hombres. Habría que ahondar en este fenómeno, pero lo que se puede observar inmediatamente es que las formaciones aeronáuticas en la UNAQ están bastante masculinizadas.

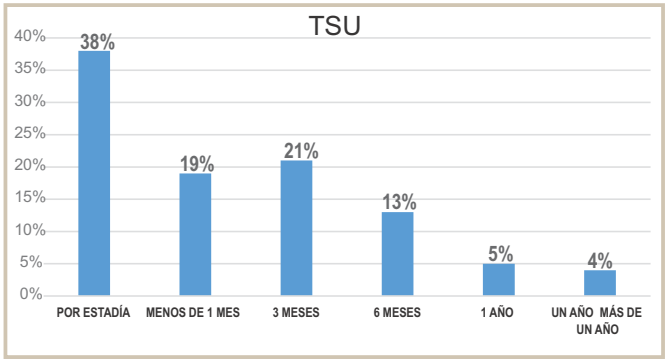
En cuanto al impacto de la UNAQ en el mercado de trabajo aeronáutico, los indicadores que arroja la inserción laboral de sus egresados son de destacar. De acuerdo con la Encuesta de Seguimiento a Egresados 2016, aplicada por la institución a egresados de los programas de TSU en sus tres especialidades, así como del programa de Ingeniería Aeronáutica en

Manufactura, una de las estrategias que buscó la UNAQ para incidir en la inclusión laboral de sus egresados fue construir una estrecha vinculación con las empresas aeronáuticas que llegaron al estado de Querétaro y aquellas con interés en colaborar con la institución que se ubican en otro estado de la república. La materialización de esta estrategia fue la creación de una bolsa de trabajo donde regularmente se publican prácticas profesionales y vacantes de trabajo por parte de empresas aeronáuticas, tanto para estudiantes como para egresados. En el caso de los estudiantes, a través de esta instancia se les apoya para conseguir estadías en las diferentes empresas e instituciones relacionadas con el sector y, de igual forma, se brinda apoyo a los egresados para conseguir trabajo.

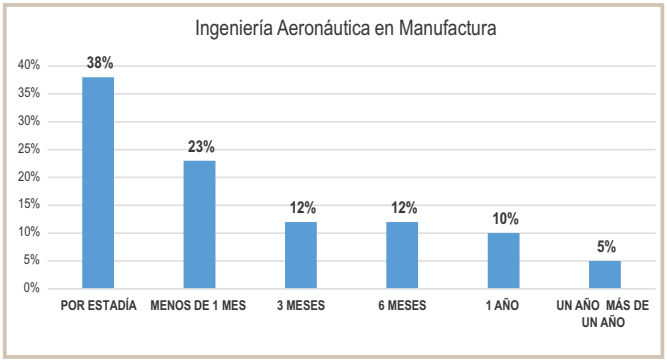
Concretamente, un 22% de los egresados de la UNAQ logra integrarse laboralmente a través de la bolsa de trabajo de la UNAQ. El resto de los egresados lo hace a través de las empresas donde realizaron sus prácticas profesionales —o estadías, como lo denomina la UNAQ—, con un 38%. Un dato que no se puede pasar por alto, que muestra la demanda que tienen actualmente las formaciones aeronáuticas, es que el 91% de los egresados de la UNAQ consigue empleo seis meses después de haber egresado, tal como se puede ver en la gráfica 5. Para el caso de las ingenierías que oferta la UNAQ, en el caso de la Ingeniería Aeronáutica en Manufactura, la primera ofertada por la institución y donde más egresados ha habido, el 85% de los egresados encuentra empleo seis meses después de egresar (gráfica 6).

En lo que corresponde a los estados de la República mexicana donde se encuentran laborando los egresados de la UNAQ, encontramos que, en el caso de TSU, el 76% trabaja en empresas localizadas en el estado de Querétaro, el 22% se establece fuera del estado y el 2% se encuentra en el extranjero. Las cifras para el caso de las ingenierías son similares: el 72% labora en el estado de Querétaro, el 24% se encuentra en otro estado y el 4% labora en el extranjero. Cuando se ahonda sobre en qué áreas específicas laboran los egresados de la UNAQ, se puede identificar claramente la vocación de la industria aeronáutica en México: la manufactura (gráficas 7 y 8).

Además de estos datos, un indicador importante es el relativo a la satisfacción de los empleadores. La metodología que se utilizó para conocer el nivel de satisfacción de los empleadores consistió en encuestas



Gráfica 5. Tiempo en que un egresado de TSU de la UNAQ encuentra empleo. Fuente: Programa de seguimiento de egresados UNAQ, 2016.

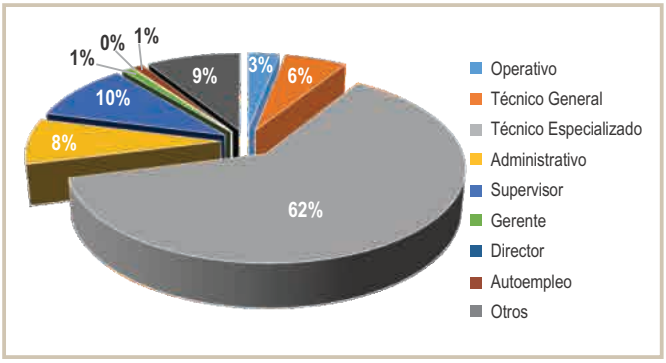


Gráfica 6. Tiempo en que un egresado de Ingeniería de la UNAQ encuentra empleo. Fuente: Programa de seguimiento de egresados UNAQ, 2016.

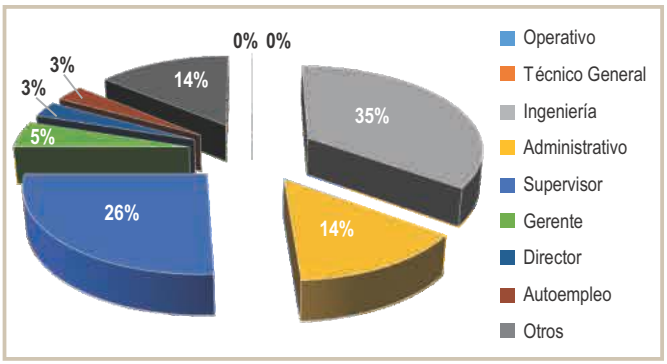
a una muestra de 81 jefes directos de los egresados de la UNAQ hasta noviembre de 2016. Los datos obtenidos arrojan que el 72% de los empleadores se encuentran satisfechos con el desempeño de los egresados de la UNAQ y un 26% están muy satisfechos; es decir, el 98% de los encuestados tiene una buena opinión de la formación profesional que brinda la UNAQ.

II. El CONALEP Aeronáutico Bicentenario de Querétaro

El Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (CONALEP) es una institución de educación media superior creada inicialmente por decreto presidencial en 1978 como un organismo público descentralizado del gobierno federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio (CINTERFOR, 2017). En un inicio, el objetivo fundamental del CONALEP fue la formación de profesionales técnicos egresados directamente de la secundaria; sin embargo, en el año de 1993 se da un nuevo decreto donde se reforma la institución y se amplía su campo de acción hacia la capacitación



Gráfica 7. Área de ocupación de un egresado TSU de la UNAQ. Fuente: Programa de seguimiento de egresados UNAQ, 2016.



Gráfica 8. Área de ocupación de un egresado de Ingeniería Aeronáutica en Manufactura de la UNAQ. Fuente: Programa de seguimiento de egresados UNAQ, 2016.

laboral, vinculación inter-sectorial, apoyo comunitario y asesoría y asistencia tecnológicas a las empresas (CINTERFOR, 2017).

Con la modificación al decreto de creación, realizada en 2011, se incorpora la formación de profesionales técnico-bachilleres. Actualmente, es una institución federalizada, constituida por una unidad central que norma y coordina el sistema, integrado por treinta colegios estatales, una unidad de operación desconcentrada, localizada en la Ciudad de México, y la representación del estado de Oaxaca. Esta estructura hace posible la operación de los servicios en 308 planteles, los cuales se encuentran en las principales ciudades y zonas industriales del país, así como en ocho centros de asistencia y servicios tecnológicos (CAST).

En lo que corresponde al CONALEP Aeronáutico Bicentenario de Querétaro (en adelante CONALEP Aeronáutico-Querétaro), en esta institución educativa se imparten tres programas de estudio: *1)* Mecatrónica; *2)* Laministería y Recubrimiento de Aeronaves, y *3)* Mantenimiento de Motores y Planeadores. En agosto del presente año, se dará apertura a una nueva carrera que se denominará Sistemas Electrónicos de Aviación. Como se puede observar, de las cuatro especialidades que ofrece el CONALEP Aeronáutico-Querétaro, tres son formaciones directamente relacionadas con el sector aeronáutico. Cabe destacar que el CONALEP Aeronáutico-Querétaro es la más joven de las cuatro escuelas que conforman el CONALEP Querétaro, con cinco años de vida y programas educativos que responden a los requerimientos actuales del sector productivo queretano.

La primera piedra del CONALEP Aeronáutico-Querétaro fue colocada el 12 de diciembre de 2010; sin embargo, las actividades de la institución iniciaron el 8 de agosto de 2011 en una casa rentada en el fraccionamiento San Isidro, con 100 alumnos que conformaron la primera generación 2011-2014. En ese entonces, la plantilla docente inicial fue de seis profesores que impartieron las carreras de Profesional Técnico Bachiller en Mantenimiento de Motores y Planeadores, y Mecatrónica. Posteriormente, en febrero de 2012 inician formalmente las clases en el módulo académico del edificio A de las instalaciones del plantel que actualmente tiene el CONALEP Aeronáutico-Querétaro (Lew, 2017; CONALEP, 2017).

II.1. Programas educativos ofertados por el CONALEP Aeronáutico-Querétaro y su relación con el mercado de trabajo

El modelo académico del CONALEP tiene como propósito orientar la formación del Profesional Técnico (PT) y del Profesional Técnico Bachiller (PTB) en un nivel de calidad que se caracterice por su pertinencia y flexibilidad, así como por proporcionar una formación integral y permanente en un esquema que privilegie el desarrollo humano sustentable, en congruencia con las necesidades cambiantes del entorno laboral donde se encuentran operando los planteles de la institución. En el CONALEP Aeronáutico-Querétaro se ofertan tres programas educativos de corte aeronáutico, a saber:

1. Especialidad en Mecatrónica. Dentro de esta especialidad, se combinan diversas actividades interdisciplinarias del área de las ingenierías, entre las que se encuentran ingeniería mecánica, ingeniería electrónica y sistemas computacionales. El objetivo de esta especialidad es que los egresados puedan crear,

mejorar, armonizar o perfeccionar productos o procesos productivos

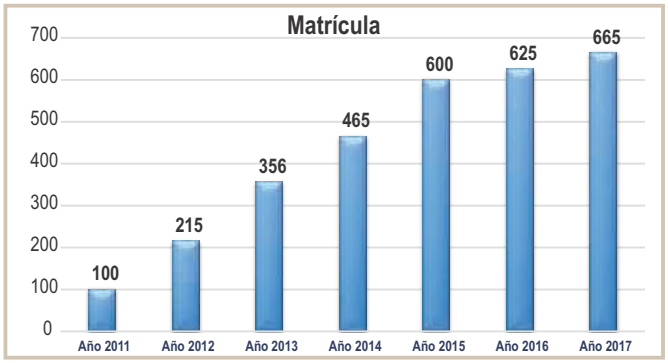
2. Laministería y recubrimiento de las aeronaves. Es una especialidad que permite identificar y evaluar daños en las estructuras de las aeronaves. Al cursar esta especialidad, los alumnos podrán desarrollar habilidades para reparar y dar mantenimiento a estructuras metálicas y de materiales compuestos. El egresado de esta especialidad podrá participar activamente en la supervisión de los servicios de mantenimiento de las aeronaves a través de la normatividad aérea que los rige.

3. Mantenimiento de Motores y Planeadores. Al cursar esta especialidad, los egresados estarán en condiciones de poder realizar servicios de mantenimiento y reparación de aeronaves, motores, hélices, gobernadores, sistemas y componentes complementarios, utilizando las especificaciones técnicas y manuales del fabricante, normas técnicas vigentes y estándares de calidad de las aeronaves.

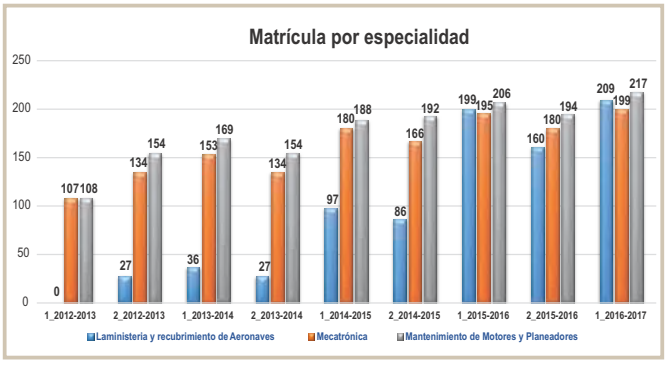
4. Sistemas Electrónicos de Aviación. Esta especialidad actualmente se encuentra en desarrollo y se pretende comenzar a ofertarla en este año 2017.

Al igual que la UNAQ, la matrícula general total del CONALEP Aeronáutico-Querétaro de 2011 a 2017 ha tenido un comportamiento interesante que ha sido asociado al proceso de consolidación de la institución dentro del área donde se localiza. En las gráficas 9 y 10, se puede observar el crecimiento explosivo que ha tenido la matrícula dentro de este nivel de bachillerato, al pasar de 100 alumnos en 2011 a 665 en 2017. A pesar de estos resultados importantes en la captación de estudiantes, uno de los problemas más importantes que aquejan al CONALEP Aeronáutico-Querétaro es la eficiencia terminal. En este rubro, en 2013 se tuvo un nivel de eficiencia terminal muy bajo (33%), que ha logrado incrementarse paulatinamente hasta llegar a un promedio de 44% para la generación 2013-2016. Incrementar la eficiencia terminal es uno de los objetivos centrales del CONALEP Aeronáutico-Querétaro. Otro objetivo que la institución se ha establecido para 2021 es lograr una eficiencia terminal de 78% (Lew, 2017). Cumplir con el indicador de eficiencia terminal implica retos importantes para la institución, especialmente dos: el primero es diseñar con un proceso de selección de estudiantes que cuenten con el perfil que requieren los planes de estudio que oferta la institución; el segundo es el acompañamiento de los estudiantes durante su trayectoria escolar, específicamente tutorías y atención a problemáticas que inciden en el bajo rendimiento escolar.

A diferencia de la UNAQ, donde la mayor parte de los estudiantes son originarios de los municipios de Cadereyta, Querétaro y San Juan del Río, en el CONALEP Aeronáutico-Querétaro los estudiantes provienen de comunidades aledañas a la escuela y el PAQ, como Galeras, Navajas, Guadalupe la Venta, La Griega, Zacatenco, Coyotillos, Agua Azul, Jesús María, Los Héroes, Hacienda la Cruz, Fraccionamiento San Isidro. Estos datos nos muestran que realmente el CONALEP Aeronáutico-Querétaro puede ser una institución importante para el desarrollo de los jóvenes de estas comunidades.



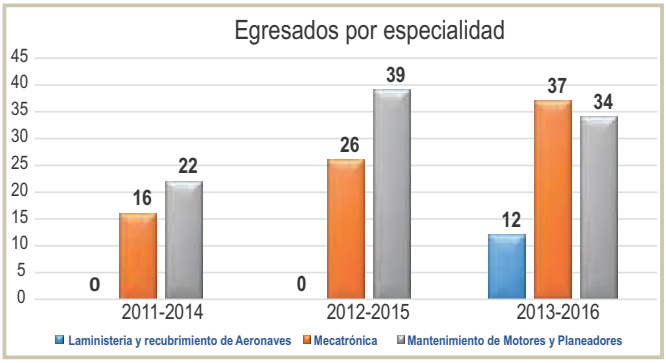
Gráfica 9. Matrícula total CONALEP Aeronáutico-Querétaro (2011-2017). Fuente: Elaboración propia con base en la información recopilada en trabajo de campo (2017).



Gráfica 10. Matrícula total CONALEP Aeronáutico-Querétaro por especialidad (2012-2017). Fuente: Elaboración propia con base en la información recopilada en trabajo de campo (2017).

En lo que corresponde a los egresados del CONALEP Aeronáutico-Querétaro, la información que arroja este apartado es importante porque, a partir de ella, se puede evaluar la calidad y pertinencia de la educación que se está ofertando, así como la inserción laboral y la situación socioeconómica de los egresados. Para recopilar esta información, la institución realiza periódicamente estudios de seguimiento de egresados; entre la información disponible, destaca el del número de egresados por especialidad (gráfica 11).

En esta gráfica (11), se puede observar el número de egresados por generación, que presentan porcentajes de eficiencia terminal del 38% (2011-2014); 42% (2012-2015) y 44% (2013-2016). La cuestión de la eficiencia terminal se ha convertido en una problemática no sólo para el CONALEP Aeronáutico-Querétaro, sino para todas las instituciones, tanto de educación media superior como de educación superior. Para el caso de las instituciones técnicas de nivel medio superior, es apremiante atender la eficiencia terminal; de no hacerlo, se vislumbra que habrá jóvenes que no podrán insertarse, de manera efectiva y con buenas posiciones laborales, al mercado de trabajo, pues carecerán de competencias técnicas que permitan atender las necesidades de las empresas.



Gráfica 11. Egresados de CONALEP Aeronáutico-Querétaro por Especialidad. Fuente: Estudio de seguimiento de egresados, CONALEP (2017).

En ese sentido, si atendemos a que el promedio de eficiencia terminal del CONALEP Aeronáutico-Querétaro ronda el 39% y tomamos como punto de referencia ese universo, encontramos que es muy limitado el número de estudiantes que se desempeñan laboralmente dentro del sector aeronáutico. Para ilustrar lo anterior, un ejemplo concreto sería la generación 2013-2016 de esta institución: de acuerdo con los datos que arrojó el estudio de seguimiento de egresados, sólo el 31% se desempeña laboralmente dentro del sector aeronáutico, es decir, sólo 25 alumnos de un total de 83 que culminaron sus estudios (gráfica 12). Sin embargo, a este indicador se le debe agregar que, en la generación citada, los estudiantes matriculados inicialmente fueron en total 356, de los cuales lograron concluir su educación media superior, como ya se observó, únicamente 83 jóvenes.

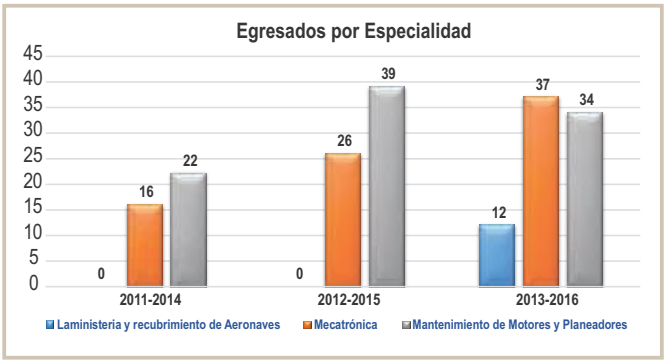
¿Qué pasa con los alumnos que no lograron continuar sus estudios dentro del CONALEP Aeronáutico-Querétaro? Una posible respuesta es que continuaron sus estudios en otra institución educativa; el peor de los escenarios es que no se encuentren trabajando ni estudiando. La posición anterior no trata de ser fatalista, sino objetiva, ya que, en un escenario de inestabilidad económica y empleo precario, los jóvenes conforman uno de los sectores más vulnerables. Por ejemplo, seis de cada diez jóvenes que consiguen empleo en América Latina y el Caribe se insertan en la economía informal; en México, dos de cada tres jóvenes trabajan en el sector informal y la tasa de desempleo juvenil ha crecido de 2010 a 2011. Las condiciones económicas globales dificultan aún más la entrada de los jóvenes al mercado laboral; así lo señala la OIT cuando declara que "el debilitamiento de la recuperación mundial en 2012 y 2013 ha agravado la crisis del empleo juvenil, lo que ha dificultado aún más el acceso al empleo para muchos desafortunados jóvenes que buscan trabajo; hasta tal punto, que muchos están renunciando a seguir buscando" (OIT, 2013).

Si bien pueden observarse algunas problemáticas relacionadas con el comportamiento de la eficiencia terminal de los estudiantes de la institución, no se puede pasar por alto que se está trabajando para superarlas. Esto incluye mejorar los procesos de ingreso y selección de los aspirantes y, una vez dentro de la institución, generar un programa de acompañamiento que permita incrementar el rendimiento escolar y disminuir la deserción.

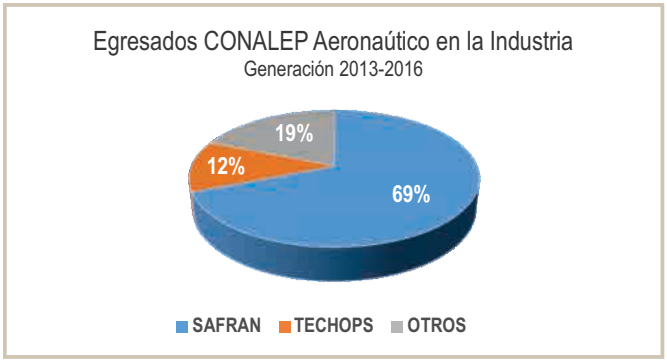
Adicionalmente, se trabaja en construir trayectorias de egreso exitosas; esto significa que, al momento de que los estudiantes culminen sus estudios, cuenten con las mejores condiciones y competencias para integrarse al campo laboral. La planta de profesores que labora en la institución abona a la construcción de una trayectoria escolar exitosa de los estudiantes y a la inserción laboral; gracias a su experiencia dentro del sector productivo. Se debe de trabajar activamente en incluir más profesores que cuenten con este perfil profesional.

II.2. Problemáticas detectadas para atraer a jóvenes

Los problemas detectados por el CONALEP Aeronáutico-Querétaro para atraer a los jóvenes habitantes de las comunidades rurales que están alrededor del Parque Aeroespacial de Querétaro (PAQ) son de orden económico, pero también social y cultural. De acuerdo a las entrevistas realizadas con los directivos de las instituciones de educación estudiadas en el presente artículo (Lew, 2017; Gutiérrez de Velasco, 2017), algunos de los aspectos que destacan es que los jóvenes no tienen una adecuada orientación vocacional, lo cual es impide elegir opciones de estudio adecuadas a sus intereses y habilidades; frente a esa condición, en muchas ocasiones, son los padres quienes toman la decisión por sus hijos acerca de qué estudiar y en qué plantel de educación media superior hacerlo; a esto se suma que, en algunos casos, la falta de estudios de los padres les impide ver la importancia de la educación como factor de movilidad social y



Gráfica 12. Egresados CONALEP Aeronáutico-Querétaro por especialidad (generaciones 2011-2014, 2012-2015 y 2013- 2016). Fuente: Estudio de seguimiento de egresados, CONALEP Aeronáutico-Querétaro (2017).



Gráfica 13. Egresados CONALEP Aeronáutico-Querétaro laborando en el sector aeronáutico (Generación 2013-2016). Fuente: Estudio de seguimiento de egresados, CONALEP Aeronáutico-Querétaro (2017).

prefieren que sus hijos se integren a trabajar tan pronto como sea posible. A la par de estas problemáticas, que deben trabajarse directamente en las comunidades, se observan las siguientes situaciones que deben atenderse en el corto y mediano plazo:

1) Recursos económicos escasos para que los jóvenes habitantes de las comunidades aledañas al PAQ cuenten con condiciones para poder integrarse o continuar con sus estudios de bachillerato.

2) Medios de transporte limitados para el traslado de los jóvenes de sus comunidades a las instalaciones del CONALEP Aeronáutico-Querétaro. Este punto no sólo se observa en este plantel; en el caso de la UNAQ también se detectó esta problemática, por lo que se está trabajando con las autoridades municipales y estatales para brindar servicios de transporte a los estudiantes que lo requieran.

3) Bajo nivel académico al momento de egresar del nivel básico: esta situación genera que los estudiantes no puedan mejorar su desempeño académico en el nivel medio superior y por tanto vean interrumpido su trayecto dentro de este nivel, ya sea por reprobación o deserción.

4) Problemas en la orientación vocacional, debido a lo cual los jóvenes no están en condiciones de decidir qué es lo que quieren estudiar y a dónde dirigir su proyecto de vida; como ya se mencionó, es por ello que otras personas, especialmente los padres, son quienes toman la decisión, con resultados muchas veces negativos, por la incompatibilidad entre lo que los padres consideran adecuado y la verdadera vocación de los hijos.

III. Conclusiones

A partir del explosivo crecimiento del sector aeronáutico en el estado de Querétaro, las instituciones educativas enfocadas en atender las demandas de formación profesional de las empresas aeronáuticas instaladas en la entidad enfrentan importantes retos. El primero y más importante es el de su consolidación institucional. Como se pudo observar en el desarrollo del presente artículo, el CONALEP Aeronáutico-Querétaro y la Universidad Aeronáutica de Querétaro (UNAQ) son instituciones muy jóvenes que demandan acciones concretas a corto plazo para fortalecer su infraestructura educativa y personal académico, principalmente. Con estas acciones se estaría en condiciones de ofrecer las herramientas y competencias que requieren los jóvenes para construir trayectorias laborales exitosas dentro del mercado de trabajo del sector aeronáutico.

A la par de estas acciones, un desafío importante de estas instituciones educativas es convertirse en motor del desarrollo social y económico de las regiones

donde se insertan. Esto es particularmente importante para el caso de la inclusión educativa y laboral de los jóvenes que habitan las comunidades rurales aledañas al PAQ; es apremiante generar un tipo de desarrollo que no sólo privilegie los habitantes de los centros urbanos. Se trata, en todo caso, de hacer posible que los beneficios del desarrollo industrial, especialmente la inclusión laboral y educativa, también impacte en sectores poblacionales que histórica y socialmente han contado con acceso restringido a los elementos educativos, sociales y culturales que permiten la movilidad social.

El desafío que tienen las instituciones de educación es grande porque, si bien es cierto que en ocasiones la dinámica del desarrollo industrial no se puede detener, eso no es argumento válido para ignorar el compromiso social que tienen con el entorno que les acoge. La política pública, ya sea federal, estatal o municipal, no puede atender exclusivamente las demandas de las empresas; es preciso crear acciones que permitan el fortalecimiento de las instituciones educativas para que puedan potenciar la inclusión social de los jóvenes, entendida como inserción laboral y educativa. De no conseguirlo, estaremos de nueva cuenta frente a procesos de desarrollo industrial que no aporten mucho al desarrollo económico y social de la población, especialmente de los jóvenes.

Bibliografía

Carrillo M, González M y Salinas J (2013). Transformaciones socioterritoriales: el caso del Parque Aeroespacial de Querétaro. En: González M (coord.). *Actores laborales y desarrollo regional*. México: UAQ-Miguel Ángel Porrúa.

Centro Interamericano para el Desarrollo del Conocimiento en la Formación Profesional (CINTERFOR) (2017). OIT. Disponible en: https://www.oitcinterfor.org/instituci%C3%B3n-miembro/colegio-nacional-educaci%C3%B3n-profesional-t%C3%A9cnica-conalep

CONALEP Aeronáutico-Querétaro (2017). *Antecedentes históricos del CONALEP.* Disponible en: http://www.conalep.edu.mx/queretaro/QuienesSomos/

CONALEP Aeronáutico-Querétaro (2016). *Programa Estatal de Preceptorías*. Disponible en: http://www.conalep.edu.mx/queretaro/Alumnos/Paginas/Preceptorias.aspx

CONALEP Aeronáutico-Querétaro (2017). *Reporte de seguimiento de egresados*. Documento interno.

Gutiérrez J (2015). *Informe de actividades 2015*. México: Universidad Aeronáutica en Querétaro.

Gutiérrez J (2016a). *Antecedentes históricos de la UNAQ. Informe de actividades 2011-2016*. México: Universidad Aeronáutica en Querétaro. Disponible en: http://www.unaq.edu.mx/index.php/nuestra-universidad/nuestra-historia

Gutiérrez J. (2016b). *Informe de actividades 2016*. México: Universidad Aeronáutica en Querétaro.

OIT (2013). *Tendencias mundiales del empleo 2013: Una generación en peligro*. Disponible en: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_222658.pdf

UNAQ (2010-2020). *Plan de Desarrollo Institucional (PDI) 2010-2020*. Universidad Aeronáutica en Querétaro.

Entrevistas

Jorge Gutiérrez de Velasco Rodríguez (2017), rector de la Universidad Aeronáutica en Querétaro (UNAQ). Entrevistado en las instalaciones de la UNAQ el 15 de febrero de 2017.

Javier Lew (2017), director del CONALEP Aeronáutico-Querétaro. Entrevistado en las Instalaciones del CONALEP Aeronáutico-Querétaro el 3 de febrero de 2017.

Fecha de recepción: 21 de julio de 2017
Fecha de aceptación: 03 de octubre de 2017

La productividad de las pequeñas empresas al innovar*

Enrique Leonardo Kato Vidal[1]
María de la Luz Fernández Barros[2]

Resumen

Las empresas pequeñas y medianas se caracterizan por tener bajos niveles de productividad y dedicar escasos recursos a actividades innovadoras. El objetivo de este artículo es probar estadísticamente la relación entre productividad laboral e inversión en innovación, particularmente en la economía de Querétaro. El análisis se realiza con más de 200 observaciones de los sectores estratégicos de todas las entidades federativas de México. La información provino de la Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Enaproce 2015, INEGI). Con la evidencia encontrada en Querétaro y en México, se puede afirmar que, al invertir en innovación, se obtiene mayor productividad y más ganancias; al respecto, la actividad tecnológica permanente es una fuente de innovación. En consecuencia, los insumos para los proyectos de innovación que se crean con la investigación y el desarrollo experimental (I+D) se deben, en mayor medida, a los esfuerzos intrínsecos de la empresa y, en menor medida, al monto de los presupuestos asignados para I+D. En conjunto, estos resultados revelan que en Querétaro: *1)* existe una asociación positiva entre el alto nivel de productividad y las inversiones destinadas a la innovación; *2)* existen elevados montos de I+D que potencialmente pueden convertirse en innovaciones exitosas.

Palabras clave:
I+D, Innovación, Pyme, Querétaro, México

[1]Enrique Leonardo Kato Vidal
enriquekato@uaq.mx
Autor de correspondencia. Dirección postal: planta baja del edificio del Posgrado de la Facultad de Contaduría y Administración Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de Las Campanas s/n, CP 76010, Santiago de Querétaro, Querétaro, México; Tel. (442) 192 1200, ext. 5273

[2]María de la Luz Fernández Barros
luzfb@uaq.mx
Posgrado de la Facultad de Contaduría y Administración Universidad Autónoma de Querétaro

*Deseamos agradecer las observaciones de dos dictaminadores que contribuyeron a una exposición más sólida de los resultados y las conclusiones. Cualquier equivocación que hubiera es responsabilidad de los autores. La investigación recibió el apoyo financiero del Fondo para el Fortalecimiento de la Investigación de la Universidad Autónoma de Querétaro. Los autores reconocemos la colaboración de Olivia Vilchis en la conformación de la base de datos.

Introducción

El Foro Económico Mundial considera que la innovación es el requisito para alcanzar la etapa avanzada de competitividad (WEF, 2017). Para pequeños negocios y regiones rezagadas, que se encuentran alejados de la frontera de eficiencia, la recomendación usual para ser más competitivos se centra en lograr mayores niveles de productividad. En la definición dominante sobre innovación no se especifica el tamaño que deban tener las empresas para ser consideradas como innovadoras (OECD, 2005). Como convención, nos referimos a una innovación cuando se trata de procesos, productos o servicios que sean nuevos o mejorados, al menos para la empresa, que están presentes en el mercado. En sentido estricto, también son innovaciones las mejoras productivas y de mercado de las empresas pequeñas (Ortega-Argilés *et al*., 2009).

En el presente artículo, se estudia la productividad laboral como el resultado de esfuerzos e inversión destinados a la innovación. La conformación de proyectos concretos de innovación requiere de un trabajo previo denominado *investigación y desarrollo* (I+D). En esta etapa, se exploran las alternativas y se preparan los planes de negocio que pueden convertirse en innovaciones. La causalidad

se muestra en la siguiente expresión:

[E1] I+D→Inversión en innovación →Productividad

La expresión anterior no se limita a una causalidad de tipo de lineal; de hecho, son frecuentes las no linealidades y las discontinuidades en estos procesos. Por el momento, basta con señalar que pueden surgir innovaciones en empresas que no realizan actividades de I+D y, a su vez, puede haber mucha I+D sin resultados que se traduzcan en innovaciones (Mata *et al.*, 2013). En la literatura (Cassiman *et al.*, 2006; van Hemert *et al*., 2013), se reconoce que las empresas deben realizar simultáneamente dos tipos de procesos (*v.gr.* dilema exploración-explotación): por una parte, las actividades de exploración proveen a las organizaciones de nuevos conocimientos y oportunidades de negocio; por otra, a través de las actividades de explotación se utiliza el conocimiento creado para mejorar el desempeño de las organizaciones (expresión 2).

[E2] Exploración→Explotación→Resultado

La proporción con que se combinen la exploración y la explotación definirá la naturaleza flexible o rígida de una empresa, así como su dinamismo (van Hemert *et al.*, 2013). De esta manera, se puede afirmar que el planteamiento expuesto en la expresión 1 es un caso particular de la expresión 2.

La adquisición de información externa puede ser costosa, como cuando se contrata personal calificado o proyectos de I+D con otras empresas (Cassiman *et al.*, 2006) o puede tener un costo mínimo si un proveedor o un cliente absorbe el costo de un desarrollo tecnológico (Bougrain *et al.*, 2002).

En México, el segmento de empresas pequeñas y medianas tiene una tasa de expansión de 2.1% anual, mayor al crecimiento poblacional (INEGI, 2013); Querétaro es una entidad que reporta una tasa mucho más alta (3.6%), con la cual el número de empresas se duplicaría en dos décadas. Al destacar en el análisis los datos de Querétaro, se contrasta indirectamente el volumen de crecimiento de negocios y el mecanismo de innovación y productividad. Si se corrobora el impacto positivo de la innovación en la productividad, sería indicativo de que el alto crecimiento de empresas pequeñas y medianas ha estado acompañado de procesos innovadores. Los resultados de este artículo ofrecen evidencia sobre un tema que se conoce poco: la efectividad de la inversión en innovación en las empresas pequeñas y medianas en Querétaro y en México. Una excepción es el Premio Nacional de Tecnología e Innovación (http://fpnt.org.mx/) que reconoce desde 1998 las organizaciones que se distinguen por lograr ventajas competitivas mediante la tecnología y la innovación. Otra iniciativa en la materia es la norma mexicana en gestión de la tecnología (http://www.imnc.org.mx) que en la última década ha preparado seis documentos, usando los criterios internacionales de los manuales de Oslo y Frascati, para que las empresas micro, pequeñas y medianas reconozcan e identifiquen proyectos tecnológicos para promover proyectos de innovación.

En nuestro caso, el análisis se realiza a través de comparativos con datos sectoriales para ofrecer resultados sobre la relación entre innovación y productividad usando un enfoque cercano al de Crespi *et al.* (2012), el cual cubre seis países de América Latina. En la siguiente sección, se describen las variables utilizadas para posteriormente exponer los resultados. La última sección corresponde a las conclusiones.

Encuesta de productividad y competitividad

El análisis que se presenta se basó en la información que proporciona la Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Enaproce 2015, INEGI). Esta encuesta ha sido utilizada por Kato, *et al.* (2017) para cuantificar el impacto de las variables de tecnología e innovación sobre el empleo y la productividad.

Para lograr el comparativo de Querétaro, la muestra utilizada se circunscribe a empresas de tamaño pequeño y mediano, es decir, empresas con entre 11 y 100 empleados en los sectores de comercio y servicios, y entre 11 y 250 en las manufacturas

(INEGI, 2016). La variable de respuesta que se utilizó es la productividad laboral (=ventas/empleos) y la variable explicativa fue inversión en innovación. En la encuesta se consideraron como proyectos de innovación las mejoras en productos, procesos, organizacional y mercadotecnia (INEGI, 2016).

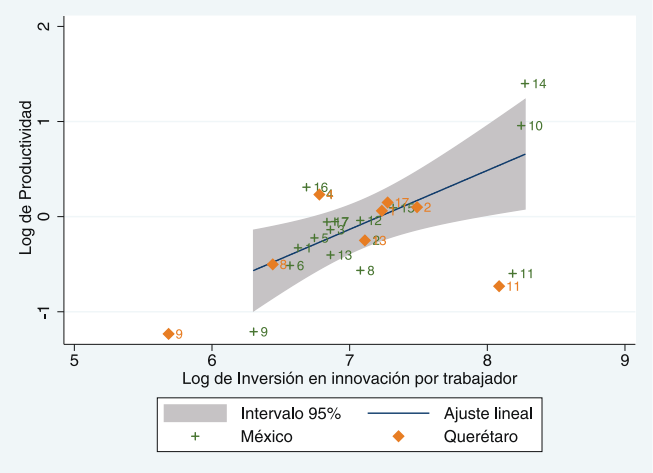
Otras variables auxiliares en el análisis que se retomaron de la Enaproce fueron: a) la inversión intramuros y extramuros en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico (IDT o, alternativamente, I+D), y b) el porcentaje de empresas en cada sector que realiza actividades tecnológicas, como adaptación de tecnologías para establecer mayores niveles de eficiencia en la producción, adquirir licencias para ampliar o actualizar los procesos de producción, o desarrollo de tecnología propia. Las variables monetarias, como producción e inversión, se expresaron en escala logarítmica para reducir la dispersión de los datos y revelar con mayor solidez la correlación estadística de las variables.

Resultados

El objetivo del artículo es verificar la existencia de una relación estadística entre innovación y productividad en empresas pequeñas y medianas. La estrategia de comprobación consistió en el uso de una gráfica de dispersión, el ajuste de una tendencia lineal y un intervalo de confianza. En la gráfica 1, se valida que existe una asociación positiva entre las variables y que esta se cumple tanto para los sectores manufactureros como para los no manufactureros (comercio y servicios). La ecuación lineal implícita para construir la gráfica 1 es

$$[1]\ \text{Log Productividad}_{ij}=\alpha_0+\alpha_1 \text{Log}\,(I/L)_{ij}+e_{ij}$$

donde I/L es la inversión en innovación por trabajador, *i* denota el sector, *j* la entidad federativa, y e es un error aleatorio. Se observa que la distribución sectorial de Querétaro se encuentra, esencialmente, dentro del intervalo de confianza (Rodríguez-Pose *et al.*, 2015). Destaca que la productividad de Querétaro es 11% mayor a la nacional y se explica, principalmente, por los sectores de alimentos, de electrodomésticos y de productos de madera; estos sectores, además de tener alta productividad, también invierten altos montos a innovación.



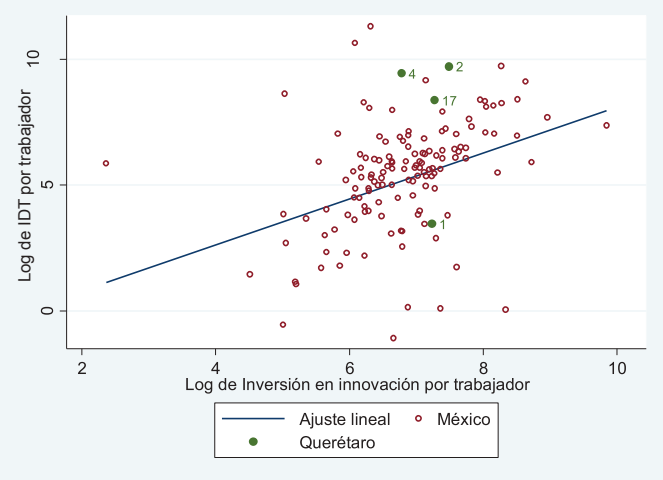
Gráfica 1. Querétaro: inversión en innovación y productividad

Nota. El símbolo de diamante (◆) representa los sectores de Querétaro y el símbolo de suma (+) representa los datos de los 17 sectores que comprende la encuesta. La estimación de la ecuación 1 que incluye efectos fijos para cada uno de los sectores produce una estimación de $\hat{\alpha}_1$=0.10 (t=3.64,sig.0.000). El estadístico de la ecuación es F(17,190)=30.2 y $\bar{R}^2$=0.706 y Raíz MSE =0.283. En el anexo, se pueden consultar los códigos de los sectores. Se utilizó como ponderador la variable de empleos totales del sector (Stata Corp, 2013). Fuente: Enaproce, INEGI.

En la Enaproce, los proyectos de innovación se definieron en forma amplia, esto es, considerando innovación tecnológica, presupuestos de mercadotecnia y mejoras organizacionales. Se esperaría que más recursos —dedicados a la investigación tecnológica— se tradujeran en más insumos (ideas, prototipos, capacitación) útiles en la formulación de proyectos innovadores. Para convertir las actividades de I+D en insumos innovadores, se requiere de presupuesto, de habilidades del personal y de tiempos de maduración; por ello, resulta de interés conocer en qué medida la etapa de exploración (I+D) proporciona insumos efectivos para la etapa de explotación de conocimientos (innovación). Al respecto, se elaboró la gráfica 2 usando datos de 139 sectores estratégicos del país. La ecuación que subyace el análisis es

$$[2]\ \text{Log}\,(IDT/L)_{ij}=\beta_0+\beta_1 \text{Log}\,(I/L)_{ij}+\epsilon_{ij}$$

donde *IDT/L* es la inversión en I+D por trabajador y ϵ es el error aleatorio. En Querétaro, sólo cuatro de los ochos sectores estratégicos realizan investigación y desarrollo tecnológico (IDT o I+D); se encuentran agrupados en la parte superior de la nube de puntos (gráfica 2). Los sectores de electrodomésticos y de equipo de transporte destacan por los elevados montos de IDT respecto al estándar mexicano. Dado que los sectores correspondientes a Querétaro aparecen del lado derecho de la nube de puntos esto significa que tienen altos niveles de inversión en innovación.



Gráfica 2. Querétaro: IDT e inversión en innovación

Nota. El símbolo de círculo vacío (○) representa los 139 sectores de las 32 entidades federativas. El símbolo de viñeta (●) se utilizó para destacar los cuatro sectores que realizan IDT en Querétaro. La estimación de la ecuación 2 que incluye efectos fijos para algunos sectores produce una estimación de β_1=0.624 (t=3.12,sig.0.002). El estadístico de la ecuación es F(6,132)=10.8 y R^2=0.298 y Raíz MSE =1.502. En el anexo se pueden consultar los códigos de los sectores. Se utilizó como ponderador la variable de empleos totales del sector (Stata Corp, 2013). Fuente: Enaproce, INEGI.

Se encontró que la relación entre IDT e inversión en innovación fue positiva y estadísticamente significativa, a pesar de la elevada dispersión. La correlación simple entre las variables es 0.3844 (p<.000). La débil asociación entre las variables es reflejo del riesgo implícito que conllevan las actividades de desarrollo tecnológico. Con base en la evidencia, consideramos que no hay argumentos para rechazar que en Querétaro también es válida la afirmación de que más IDT promueve más inversión en innovación.

Un siguiente paso en el análisis fue indagar a qué se destinan los presupuestos de I+D; con ello, se busca entender cómo se ejercen, en empresas pequeñas y medianas, los presupuestos de I+D, de tal manera que esas inversiones se conviertan en proyectos innovadores. Para algunos autores, las actividades de I+D se realizan aunque no exista un departamento especializado (Bougrain *et al.*, 2002). También existe evidencia de que las empresas hacen uso de desarrollos tecnológicos externos para ahorrar costos, tiempos y minimizar la incertidumbre (Mata *et al.*, 2013). En el cuadro 1, se busca identificar si los proyectos de innovación están más relacionados a proyectos internos o externos (*cfr.* Cassiman *et al.*, 2006). Dado que en Querétaro sólo se tienen cuatro sectores con actividades de I+D, resulta difícil hallar una respuesta específica para el estado; por ello, las pruebas estadísticas presentadas se calcularon utilizando una muestra amplia de 208 observaciones.

	Log de inversión en I+D por trabajador		Porcentaje de empresas que realizan actividad tecnológica	
	[1]	[2]	[3]	[4]
Correlación	Intramuros	Extramuros	Una vez al año	Entre 2 y 5 veces al año
Simple	0.047 (n.s.)	0.100 (n.s.)	0.282***	0.388***
Parcial	-0.065 (n.s.)	0.097 (n.s.)	0.194***	0.323***

Cuadro 1 México: Correlación del Log de inversión en innovación

Nota. Se presentan las correlaciones del log de inversión en innovación con cuatro variables. La correlación simple es la asociación entre dos variables sin considerar ninguna otra; en nuestro caso, entre la variable de interés (innovación) y sólo uno de los cuatro determinantes seleccionados. La correlación parcial es la asociación entre dos variables (la innovación y un determinante) después de descontar la influencia de los otros determinantes (Greene, 2003). Se utilizó como ponderador la variable de empleos totales del sector (Stata Corp, 2013). *** significativo al 1%, n.s. = no significativo. N = 208 sectores. Fuente: Enaproce, INEGI.

Los montos de inversión en innovación no se relacionaron de forma sistemática con los presupuestos de I+D internos a la empresa ni con los presupuestos destinados a los socios tecnológicos; esto significa que no se observó significancia estadística de los coeficientes de correlación entre la inversión en innovación y los presupuestos de I+D intramuros (intra empresa) y extramuros (cuadro 1, columnas 1 y 2). Contrario a lo esperado, estos

resultados indican que no hay una continuidad lineal entre las etapas de exploración y explotación. Para corroborar este hallazgo, se amplió el análisis utilizando variables no presupuestarias.

Considerando que en las empresas pequeñas y medianas suele no haber un presupuesto formal de I+D, ni un departamento especializado, se esperaría que los registros presenten importantes errores de medición de los indicadores monetarios de I+D. Para subsanar esta posible deficiencia, se construyeron dos variables con la información disponible en la Enaproce: *1)* el porcentaje de empresas que realizan actividades tecnológicas y *2)* la frecuencia con que se realizan en cada sector estratégico. Estas variables se caracterizan por estar relacionadas con las actividades de I+D (*v.gr.* esfuerzos realizados) y, a su vez, por ser independientes de los presupuestos de I+D (*v.gr.* recursos erogados).

A diferencia de las correlaciones con las variables presupuestarias de I+D, se encontró que el porcentaje de empresas que realizan actividades tecnológicas sí es un predictor importante de las inversiones en proyectos de innovación. Los coeficientes estimados fueron altamente significativos (cuadro 1, columnas 3 y 4); esto implica que se dedican más recursos a la innovación cuando en un sector hay muchas empresas competidoras realizando actividades tecnológicas. La información obtenida permite afirmar que habrá más inversión en innovación: *a)* cuando haya un mayor porcentaje de empresas realizando actividades tecnológicas y *b)* cuando sea mayor la frecuencia o intensidad (*i.e.* el número de veces al año) con que se realizan las actividades tecnológicas.

Conclusiones

Un reto de las empresas pequeñas y medianas es incrementar su productividad para asegurar su sobrevivencia; un mecanismo para lograrlo es invertir en innovación. La falta de recursos suficientes, aunado al riesgo de este tipo de inversiones, crea obstáculos en las empresas de menor tamaño. Evaluar los resultados y reconocer procesos exitosos contribuye a generar confianza y a ampliar las prácticas innovadoras.

La información presentada permite sustentar que los proyectos de innovación han tenido un impacto positivo sobre la productividad de las empresas pequeñas y medianas en Querétaro y en México. Las cifras revelan que Querétaro se encuentra entre los estados con mayor productividad e inversiones en innovación, a pesar de que los sectores queretanos de servicios turísticos y apoyo a los negocios invierten en innovación menos que sus pares del país.

Los negocios pueden innovar a través del cambio organizacional o de propuestas mercadológicas y también mediante la innovación tecnológica; respecto a esta última, la evidencia mexicana reveló que es débil el vínculo entre el presupuesto de desarrollo tecnológico y de innovación. La interpretación dada fue que las empresas pequeñas y medianas concretan sus proyectos de innovación de la siguiente manera: *a)* invirtiendo poco en actividades de I+D respecto a los presupuestos de innovación, y *b)* haciendo uso de información tecnológica no desarrollada mediante su I+D y posiblemente sin costo. Si bien los esfuerzos monetarios (*i.e.* presupuestos) de I+D inciden poco sobre los proyectos de innovación, los esfuerzos tangibles (*i.e*. actividades realizadas) en la empresa y de los competidores son un predictor confiable de las inversiones en innovación presentes y futuras. Por tanto, además de financiamiento, se requiere de un trabajo frecuente de I+D dentro de las empresas y de un uso más eficiente de socios tecnológicos para mantener un flujo constante de innovaciones que promueva la productividad de las empresas pequeñas y medianas en Querétaro.

Referencias bibliográficas

Bougrain F y Haudeville B (2002). Innovation, collaboration and SME internal research capacities. *Research policy*, 31(5), 735-747.

Cassiman B y Veugelers R (2006). In search of complementarity in innovation strategy: Internal R&D and external knowledge acquisition. *Management Science*, 52(1), 68-82.

Crespi G y Zuniga P (2012). Innovation and productivity: evidence from six Latin American countries. *World development*, 40(2), 273-290.

Greene WH (2003). Hypothesis tests and model selection [capítulo 5]. En WH Greene (ed.): *Econometric analysis* (pp. 108-148). Pearson Education.

Instituto Nacional del Emprendedor (INADEM) (s/f). Tabla de correspondencia de los sectores estratégicos con las ramas del SCIAN. En: *Diagnóstico 2014 del Programa Fondo Nacional Emprendedor S020*, Secretaría de Economía, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2016). *Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas*, INEGI, Aguascalientes.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2013). *Análisis de la demografía de los establecimientos*. INEGI, Aguascalientes.

Kato EL y Fernández M de la L (2017). Innovación, habilidades laborales y desarrollo en México. En CIICOTEC (eds.): *Competitividad e Innovación, factores de desarrollo en México*. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro.

Mata J y Woerter M (2013). Risky innovation: the impact of internal and external R&D strategies upon the distribution of returns. *Research Policy*, 42(2), 495-501.

OECD (2005). Oslo Manual. Guidelines for collecting and interpreting innovation data. Organisation for Economic Co-operation and Development.

Ortega-Argilés R, Vivarelli M y Voigt P (2009). R&D in SMEs: a paradox? Small Business Economics, 33(1), 3-11.

Rodríguez Pose A y Villarreal Peralta EM (2015). Innovation and regional growth in Mexico: 2000–2010. Growth and Change, 46(2), 172-195.

Stata Corp (2013). Weighted estimation [sección]. En: Stata Corp (ed.), Stata: Release 13. Statistical Software (pp. 317-322). Stata Corp.

Van Hemert P, Nijkamp P y Masurel E (2013). From innovation to commercialization through networks and agglomerations: analysis of sources of innovation, innovation capabilities and performance of Dutch SMEs. The Annals of Regional Science, 50(2), 425-452.

World Economic Forum (WEF) (2017). The Global Competitiveness Report 2016-17. World Economic Forum.

Anexo: lista de sectores estratégicos

01. Alimentos, bebidas, tabaco y confitería

02. Electrodomésticos

03. Electrónicos de comunicación, consumo personal y accesorios

04. Equipo de transporte terrestre, excepto ferroviario

05. Equipo y maquinaria para la industria

06. Industria textil

07. Productos para la construcción
08. Servicio de apoyo a los negocios

09. Servicios turísticos

10. Químico

11. Servicios de investigación y desarrollo tecnológico

12. Productos farmacéuticos; 13. Productos de madera

14. Plásticos y hules

15. Equipo médico y algunos instrumentos de medición

16. Servicios logísticos

17. Otros. Fuente: Enaproce (INEGI, 2016) e Inadem (s/f).

Fecha de recepción: 30 de agosto de 2017
Fecha de aceptación: 18 de septiembre de 2017

Propuesta tecnológica y competitividad: estudio de mercado para las empresas queretanas en ensayos no destructivos

Jennifer Desireé Araujo González[1]
Dra. María Guadalupe Navarro Rojero[2]

Resumen

La competitividad es un concepto complejo que se ha estudiado desde diversos enfoques, siendo la mejor forma de entenderla a través del nivel empresarial. En esta investigación se busca establecer elementos que desarrollen la capacidad para fortalecer la competitividad de las Empresas Queretanas en el sector de ensayos no destructivos, por medio de una propuesta tecnológica competitiva e innovadora basada en un estudio de mercado. La investigación comprende la recolección de datos de fuentes primarias para caracterizar la demanda, y de fuentes secundarias para caracterizar la oferta de estos servicios en el sector industrial de la Región Bajío y Sureste del país. Los hallazgos principales obtenidos quedan representados por: a) Los servicios de ensayos no destructivos en la industria mediana y grande comprenden un mercado potencial con una demanda atendida de manera no satisfactoria b) Los aspectos regulatorios en México convierten a estos ensayos en una práctica obligatoria c) La certificación y el tiempo de inspección constituyen las dos principales ventajas competitivas para una Unidad de Negocio en este campo.

Palabras claves— Certificaciones, Competitividad, Demanda, Ensayos no destructivos, Oferta.

[1] Estudiante de posgrado del CIATEQ, jdaraujog@outlook.com
[2] Asesora de la tésis, Directora de Posgrado Ciateq, maria.navarro@ciateq.mx
Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ, AC, Posgrado; Av. del Retablo 150, col. Constituyentes FOVISSSTE, CP 76150, Santiago de Querétaro, Querétaro, México:

I. Introducción

El fenómeno de la globalización, caracterizado por la intensificación de la competencia internacional derivada de la visión del mundo como un gran mercado, trae consigo profundas transformaciones productivas y socioeconómicas, lo cual impone la necesidad de contar con nuevos enfoques metodológicos para entender e impulsar la competitividad. En efecto, si bien el concepto de competitividad no es nuevo, sí lo son el contexto en el que ésta ocurre y las fuentes que la alimentan. Sollerio y Castañón (2004) definen la competitividad de las empresas como: "la capacidad para mantener o reforzar su participación lucrativa en el mercado" (p.172), es decir, viene a ser la característica de una organización que le permite diferenciarse de sus competidores mediante el desempeño superior de uno o más atributos de sus procesos, productos o servicios, y cuyo resultado se expresa en: el incremento de ventas y participación de mercado, entrada en nuevos mercados, incremento del margen de utilidad y de la productividad, reducción de costos, entre otros. Según Porter (2007), las empresas consiguen Ventaja Competitiva al concebir nuevas formas de llevar a cabo sus actividades, emplear nuevos procedimientos, optimizar las estrategias mercadológicas, nuevas tecnologías o diferentes insumos.

Dentro de todo este contexto se puede ver entonces la importancia de la investigación de mercados, definida como la función que enlaza a una organización con su mercado mediante la recopilación de información, que facilita la identificación y definición de oportunidades y problemas de mercado, así como el desarrollo y evaluación de acciones que permiten vigilar el desempeño del mercado y mejorar la comprensión de la mercadotecnia como un proceso de negocios. La presente investigación muestra los resultados de un estudio de mercado, con la finalidad de aportar directrices sobre una propuesta tecnológica a las empresas Queretanas dedicadas a los servicios de pruebas no destructivas. El estudio se llevó a cabo seleccionando dos regiones estratégicas del país: la Región Bajío y Sureste de México, encontrando áreas de oportunidad para penetrar en un mercado con una demanda insatisfecha que presenta ciertos requerimientos.

Los ensayos no destructivos son técnicas aplicadas a la inspección de productos acabados y semi acabados, para la detección de heterogeneidades internas y superficiales a través de principios físicos, sin perjudicar la posterior utilización de los productos inspeccionados (García, 2007, p.2). Según Hernando, Parra y Ospina (2011) en los últimos años la aplicación de estos ensayos ha llegado a ser una herramienta indispensable en la industria. Existen diferentes defectos que pueden surgir en los materiales y las piezas originados por excesos de cargas, por cargas cíclicas a los cuales son sometidos, o bien por defectos en su mismo proceso de fabricación, tal como atrapamientos de inclusiones o gases en un proceso de vaciado. Cuando no se detectan en una etapa inicial dichos defectos pueden originar fallas en los mecanismos. Gros (1997) deja expuesto que la detección y cuantificación de estos defectos requieren de herramientas específicas y de cierta experiencia, siendo necesario en algunos casos la aplicación de más de una clase de ensayo no destructivo por el tipo de información sobre la falla, que cada método aporta. En la obra de Hellier (2003) se establece que: "la tecnología usada en las diferentes técnicas ha tenido un crecimiento significativo y una alta innovación en los últimos 25 años" (p.1-1).

II. Metodología

El tipo de metodología que se presenta tiene la característica fundamental de estar enfocada a estudios de evaluación de proyectos. La investigación de mercados que se realiza debe proporcionar información que sirva de apoyo para la toma de decisiones según la metodología expuesta por Baca (2001), por tanto en este tipo de estudios la decisión final está encaminada a determinar si las condiciones del mercado son viables para las empresas en el área de los servicios de ensayos no destructivos, y así enfocarse en un plan tecnológico competitivo. La estructura de análisis del mercado está fundamentada en caracterizar la demanda y la oferta del sector objetivo, y para ello se debe cumplir con:

- Definir el problema: Se busca caracterizar la demanda y la oferta del sector ensayos no destructivos para las empresas en este campo, y con ello dar las bases de una propuesta tecnológica.

- Necesidades y fuentes de información: Existen dos tipos de fuentes de información las fuentes primarias, que consisten básicamente en investigación de campo por medio de cuestionarios y, las fuentes secundarias, que se integran con toda la información escrita existente sobre el tema; por la naturaleza del estudio, las fuentes de información serán primarias por medio de la aplicación de encuestas para el estudio de la demanda, y secundarias para el estudio de la oferta.

- Diseño y recopilación de datos: Comprende todo el proceso para la obtención de la información.

- Procesamiento de datos y Resultados: Se analiza la información obtenida para realizar planteamientos competitivos.

A continuación se describe el proceso para el diseño y la recopilación de datos.

A. Delimitación geográfica del mercado en estudio y selección de la población

Para delimitar el mercado y seleccionar la población a estudiar, es importante resaltar que los ensayos no destructivos son implementados por empresas del sector industrial en diversidad de giros como el aeronáutico, automotriz, petroquímica, metalmecánica, química, de producción de alimentos, eléctrica, naval, siderúrgica, de la transformación, ingeniería y construcción, comunicación y transporte, entre otras.

De inicio la delimitación geográfica busca definir el sector de estudio y para ello se plantean dos áreas estratégicas, representadas la primera de ellas por el Bajío Mexicano y la segunda por la Región Sureste del País. El Bajío Mexicano representa la región industrial, geográfica, histórica, económica y cultural del Centronorte-Occidente de México, que comprende los estados de Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes y los territorios no montañosos de Centro y Altos Norte y Sur de Jalisco. Stratfor (2013), define el Bajío como una zona idónea para los negocios y apta para la competencia con Asia. Para el 2012 recibió la mayor cantidad de inversión extranjera directa con grandes expectativas en las industrias automotriz, aeronáutica y de electrónicos; en resumen, apunta como la región con más futuro para los capitales extranjeros, por encima de la frontera norte, siendo hoy en día prospectado como uno de los mayores centros manufactureros de toda Norteamérica (Peniche y Mireles, 2015, p.30). De

las cuatro entidades que comprenden el Bajío Mexicano, tres de ellas muestran el dinamismo acentuado en el sector manufacturero, teniendo así Querétaro el 35.8% del personal ocupado concentrado en la manufactura, Aguascalientes el 32.5% y Guanajuato 32.2% según los resultados censales mostrados por INEGI (2015). La importancia de las manufacturas del Bajío representa casi la mitad del valor agregado censal de la región, de acuerdo al estudio de Unger, Garduño, e Ibarra (2014).

Como segundo sector estratégico de la investigación, se ha seleccionado de la Región Sureste del país una región geográfica potencial petrolera. Actualmente de acuerdo a la Infraestructura Nacional de Petrolíferos, la Región Sureste muestra una de las infraestructuras más robustas del país, con una de las más altas capacidades nominales y operativas en todo el sector. Esta zona cuenta con una longitud de 2,540 km en poliductos con una capacidad operativa de 1,787 barriles/día, se ubican en la zona 17 Terminales de Almacenamiento y Reparto (TAR), con una capacidad operativa de 2,023,961 barriles/día, 3 Terminales de Operación Marítimas y Portuarias (TOMP), y 2 grandes refinerías de acuerdo a la infraestructura oficial publicada por SENER (2015). De esta Región Sureste con potencial identificado, se han seleccionado los estados de Tabasco, Chiapas, Campeche, y el estado de Veracruz, como la zona óptima para el estudio. Los estados de Oaxaca, Guerrero, Quintana Roo y Yucatán, a pesar de formar parte de la Región Sureste de la Infraestructura Nacional de Petrolíferos no fueron incluidos dentro de la población a estudiar debido a que su población total del sector industrial es bastante pequeña, y la mayor parte de la infraestructura petrolífera de este sector queda representada en los estados ya mencionados.

Además de los criterios de delimitación geográfica establecidos, también fueron empleados criterios de selección industrial. En México, de manera tradicional, se ha utilizado el número de trabajadores como base para estratificar los establecimientos por tamaño (INEGI, 2014, p.13). Se reportó por INEGI (2015), que las empresas grandes (251 trabajadores o más) y las empresas medianas (51 a 250 trabajadores), aportan el 64.1% y 16.6% respectivamente de la producción bruta total del país, sobrepasando la producción de las pequeñas empresas y microempesas las cuales no aportan más del 9.8% y 9.5% respectivamente. Adicional se establece que las empresas grandes presentan un promedio de activos fijos por unidad económica de 720,610.6 (miles de pesos), las medianas 32,880.9 (miles de pesos), las pequeñas de 4,155.4 (miles de pesos), y las microempresas de tan solo 181.1 (miles de pesos). Ante estos indicadores, el estudio es orientado hacia el sector de la mediana y gran industria, considerando que la aplicación de pruebas no destructivas, si bien es una necesidad imperiosa en el nuevo mercado globalizado, es una actividad que implica la inversión de capital. Observando el bajo porcentaje de la producción bruta y la baja inversión de activo fijo de las micro y pequeñas empresas, estas se descartan de la población en estudio. A partir de ello la muestra poblacional será tomada de las medianas y grandes empresas del sector industrial, considerando que son los estratos con más posibilidades económicas para invertir en estos servicios; es importante resaltar, que tanto la pequeña y mediana industria podrían resultar clientes también de un laboratorio de este tipo, sin embargo, a nivel del estudio de mercado, es necesario acotar y por tanto definir qué sector presenta mayor potencial.

Por tanto, basado en la delimitación geográfica y los criterios de selección industrial, la población en estudio queda definida como el conjunto de medianas y grandes industrias ubicadas en la Región Bajío, entre los estados Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes y Jalisco; y las ubicadas en la Región del Sureste del país entre los estados Veracruz, Tabasco, Chiapas, y Campeche.

B. Procedimiento de muestreo y determinación del tamaño de la muestra.

La muestra es un subgrupo de la población seleccionada para participar en el estudio, su definición se basa en 5 etapas presentadas:

1. Definición de la población objetivo: Conjunto de todas las

empresas medianas y grandes del Sector Industrial presentes en la Región Bajío Mexicano y la Región Sureste del país, representadas por 708 empresas en total, de acuerdo al registro actualizado en Noviembre 2016 en el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM).

2. Determinación del marco de la muestra: Han sido elegibles empresas medianas y grandes específicamente del Sector Industrial, ubicadas en la Región Bajío Mexicano y Región Sureste del país, que sean o no conocedoras de ensayos no destructivos.

3. Definición de las técnicas de muestreo: En la práctica de evaluación de proyectos, el procedimiento de muestreo a realizar es de tipo no probabilístico (Baca, 2011, p.27). Este hecho se demuestra en el proceso de estratificación preliminar implícita que se hace en toda investigación de mercado, viendo que la probabilidad no es igual para todos los elementos del espacio muestral, en la participación dentro del sistema de encuestas. La estratificación implícita está en la valoración de la información de aquellas empresas conocedoras de la aplicación de ensayos no destructivos. El muestreo no probabilístico a utilizar es de tipo juicio; según Pérez (2008), la característica principal de este tipo es que tanto el tamaño de la muestra como la selección de los elementos están sujetos al juicio del investigador, donde la muestra se forma con los elementos, que el investigador considera (según su juicio), que son los más representativos de la población que va a estudiar. Por tanto, dentro de la muestra fueron valoradas las opiniones del personal que conocedor de la práctica de ensayos no destructivos, los que no conocen, difícilmente podrían aportar datos certeros y de validez para el estudio.

4. Determinación del tamaño de la muestra: Para calcular el tamaño de la muestra (n) y que ésta sea adecuada y válida, se debe considerar ciertas propiedades y el error máximo que se ha de permitir en los resultados. Sabiendo que se cuenta con una población finita, de la cual se desconoce su desviación estándar, se empleó la ecuación 1 para determinar el tamaño de la muestra:

❶

$$n = \frac{NZ^2pq}{(N-1)e^2+Z^2pq}$$

Donde:
N = tamaño de la población;
Z = nivel de confianza para distribución F,
p = proporción estimada de éxitos;
q = proporción estimada de fracasos (1-p);
e = límite de error aceptable.

Los datos utilizados para calcular el tamaño de la muestra de esta investigación fueron:

El nivel de confianza deseado se denota por Z, el cual se acepta que sea de 95% en la mayoría de las investigaciones. El valor de "Z" es entonces llamado número de errores estándar asociados con el nivel de confianza, su valor se obtiene de la tabla de propiedades de una distribución normal. Para un nivel de confianza de 95%, Z = 1.96. El valor de "p" como regla general, cuando no se tiene ninguna información sobre las proporciones esperadas a encontrar, se establece en un valor de 50%. El valor de "e" queda representado como el error máximo permitido, el cual se fijó en 7%.

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación 2 se obtuvo:

$$n = \frac{708\,(1.96)^2(0.5)(0.5)}{(708-1)0.07^2 + (1.96)^2(0.5)(0.5)}$$ ❷

n=154

La selección de las empresas a encuestar fue totalmente aleatoria dentro de los directorios empresariales de SIEM y bases de datos consultadas. Para la distribución del total de las mismas, se divide de manera proporcional entre los estados que conforman la unidad de muestreo, de acuerdo al porcentaje de la población de cada uno con respecto al total. La distribución es mostrada en la Tabla I.

Estado	Total de empresas (medias y grandes)	Porcentaje de la población total	Número de encuestas
Querétaro	106	15%	23
Guanajuato	322	46%	70
Aquascalientes	22	3%	5
Sector Bajío Jalisco	41	6%	9
Veracruz	112	16%	25
Tabasco	51	7%	11
Chiapas	23	3%	5
Campeche	31	4%	6
Total	708	100%	154

Tabla I
Distribución de encuestas por estados de sectores en estudio

III. Resultados

C. Presentación de Resultados

Un aspecto importante durante la aplicación de las encuestas, comprendió el asegurarse que éstas estuviesen atendidas por personal conocedor del área; por tal razón fue solicitada la atención de la misma a líderes de mantenimiento, calidad o seguridad. Parte de los cuestionarios fueron completados directamente con el experto a modo de entrevista, mientras que otros fueron enviados por medio de una liga electrónica al correo institucional del encargado. Se presenta a continuación un resumen de los aspectos más resaltantes obtenidos en los cuestionarios:

1: De la población estudiada se obtuvo una participación ligeramente mayor para las empresas grandes, conformando el 52% de los resultados muestrales contra un 48% de las empresas medianas.

2: Del estudio se obtuvo que el 88% de las empresas son conocedoras de los ensayos no destructivos, solo un 12% reportó desconocimiento. Con esto, queda demostrada la naturaleza no probabilística del muestreo en un estudio de mercado. Para el 12% de las empresas desconocedoras de éstas prácticas la aplicación de la encuesta llegó a su fin en ésta pregunta, debido a que no podrían aportar información certera. Todos los resultados mostrados a partir de este punto, comprenden las respuestas del 88% de las empresas que reportaron conocimiento en ensayos no destructivos.

3: Los giros industriales predominantes quedaron representados por las actividades manufactureras del sector textil, papelero, químico, cementeras y de producción de alimentos con una participación del 24%, seguido del giro de las empresas de construcción con 22%, y finalmente del sector petroquímico e hidrocarburos con una participación de 21% en la muestra. El sector metalmecánico, automotriz, y aeronáutico, con una participación del 14%, 11% y 7% respectivamente. Los tres giros predominantes fueron los que presentaron mayor interés en la práctica y prestación de servicios de ensayos no destructivos y expresaron dentro de las entrevistas su necesidad actual de proveedores de servicio.

4: Queda expuesto que el 45% de las empresas ha presentado una tendencia constante en la aplicación de estos servicios, y un 34% que es una porción representativa, han tendido a incrementar estas pruebas en sus empresas, un 11% respondió que a pesar de conocer qué son estos ensayos no los aplican en sus empresas, existiendo solo un 10% de empresas que opinaron que la aplicación de estas prácticas ha disminuido con el tiempo.

5: Un 43% de las empresas menciona que la principal ventaja de estas prácticas es apoyar al mantenimiento preventivo para reducir fallos no programados. Un 39% menciona que la ventaja está sobre el control de los procesos de fabricación de piezas o productos. Para ambos casos las empresas mencionaron estos dos aspectos como parte de la necesidad del cumplimiento de estándares y aspectos regulatorios, tal es el caso de los recipientes sujetos a presión.

6: Como principales limitaciones reflejadas en la práctica de ensayos no destructivos, en 56% se pone de objeción los largos tiempos de inspección, y en 50% se consideran los altos costos de estos ensayos.

7: Un 89% de la muestra manifestó la aceptación de un nuevo proveedor de servicios de ensayos no destructivos, solo un 11% dijo que no. Principalmente la negación ante nuevos proveedores de ensayos no destructivos fue mostrada por el sector aeronáutico, esto puede ser justificado debido a los altos estándares regulatorios y normativos específicos bajo los cuales se rige este sector.

8: Las empresas en un 50% seleccionaron como aspecto más importante a evaluar ante un nuevo proveedor de ensayos no destructivos, la presentación de una acreditación que garantice la calidad del resultado emitido. Seguidamente un 28% de las empresas consideró como factor más importante el tiempo de inspección y entrega de resultados y un 22% el costo del servicio.

9: El 77% de las empresas exige en la subcontratación de ensayos no destructivos una certificación que avale la calidad de la inspección y dictamen a entregar. Para un 23% de las empresas encuestadas, éste no es un factor excluyente al momento de subcontratar el servicio.

10: El 36% de las empresas ejecuta ensayos no destructivos anualmente, el 28% de la muestra lo realiza semestralmente. Un 18% ejecuta estas prácticas semanalmente, un 11% mensualmente y un 7% con una frecuencia trimestral.

11: Los rangos promedios de inversión anual que presentan las empresas en ensayos no destructivos, comprenden en un 63% una inversión anual promedio de 500,000 pesos. Un 16% de la muestra invierte entre un rango de 3,000,000 a 5,000,000 de pesos, un 15% de la muestra invierte anualmente un rango de 500,000 pesos a 1,000,000 de pesos, y finalmente, un 5% invierte entre un rango de 1,000,000 de pesos a 3,000,000 de pesos al año.

12: Las técnicas mayormente aplicadas en las empresas son los Líquidos Penetrantes y el Ultrasonido Industrial, 76% de las veces las empresas reflejaron la tendencia a ejecutar Líquidos Penetrantes, y un 72% de las veces también seleccionaron el Ultrasonido Industrial. Un 40% de las veces se indicó la tendencia hacia la Radiografía Industrial, un 29% hacia las Partículas Magnéticas, un 9% hacia el Electromagnetismo, y un 8% en Emisión Acústica.

13: Un 46% de las empresas aplican el ensayo no destructivo en la etapa de comprobación de partes o componentes que se encuentran en servicio, un 25% de ellas lo aplican en la liberación final de la pieza o producto, un 21% de las empresas lo aplican después de algún proceso de fabricación, 4% de ellas solo lo aplican en la etapa de control de recepción de materia prima, y 4% lo aplican en otra etapa.

D. Análisis de la Demanda

De acuerdo a la información recolectada se ha determinado que la población para este proyecto es de 708 empresas, de las cuales el 88% conocen los ensayos no destructivos. De estas 623 empresas, el 79% manifestó que la realización de ensayos no destructivos, que es una práctica fundamentalmente subcontratada, ha permanecido constante a través de tiempo y en otras con gradual incremento. La mayoría realiza la aplicación de estos servicios anual y semestralmente, siendo las técnicas de mayor uso el Ultrasonido Industrial y los Líquidos Penetrantes. De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de mercado, se puede establecer que en el sector de servicios de ensayos no destructivos se presenta una demanda insatisfecha atendida, siendo esta en donde se brinda el servicio a casi la totalidad del mercado, pero se satisface en forma parcial la necesidad identificada (Andía, 2011, p. 69). Esto viene justificado en el hecho de que existe mercado que manifiesta limitaciones con los servicios que recibe, reflejado principalmente en el tiempo de inspección seguida de los altos costos. Adicional a esto, hoy en día hay un aspecto preponderante que incrementa la demanda identificada y proyecta a una demanda futura potencial, y es que por normatividad, se ha vuelto requisito obligatorio contar con estos dictámenes que garanticen la operación correcta de las industrias.

E. Análisis de la Oferta

Ante todo es importante resaltar que para este tipo de servicio, la calidad y los requerimientos del cliente, están estrechamente relacionados con la habilidad certificada del signatario, además de la tecnología que se ofrezca para la ejecución de la técnica. Gran parte de la ventaja competitiva está con las empresas (laboratorios especializados) que cuentan con certificaciones. Existen dos esquemas de certificación en ensayos no destructivos: el esquema central y por empleador, la diferencia recae en la entidad emisora, siendo en la primera una organización independiente y en el segundo caso, la emisión del certificado es por la misma organización para la cual labora el técnico inspector, pudiéndose considerar el primer esquema de mayor exigencia, competitividad y que permite al signatario laborar en cualquier institución, ya que su certificado es transferible. Las certificaciones en México por ensayos no destructivos son otorgadas por la Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos (ASNT) o por el Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos (IMENDE).

El número de signatarios certificados Nivel III es bastante reducidos en todo México. En el caso de ASNT para el Programa ACCP (Certificación Central) Nivel III, se encuentran vigentes solo 7 signatarios en todo el país, que poseen de una a tres certificaciones de este tipo en técnicas de ensayos no destructivos. Bajo el esquema por empleador se presentan 86 signatarios. En el caso de IMENDE no registra ninguna certificación Nivel III en el país, las certificaciones hasta ahora emitidas son Nivel II.

Este personal se encuentra distribuido en laboratorios especializados que forman parte de empresas independientes o centros de investigación, dichos laboratorios adicionalmente a presentar a su personal certificado bajo la ASNT o IMENDE, cuenta con acreditaciones de la Entidad Mexicana de Acreditación EMA. En total se presentan 25 laboratorios de pruebas no destructivas en todo el país, acreditados por EMA bajo la NMX 17025: "Requisitos Generales para la competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración". Esto hace una oferta reducida para la cantidad de empresas demostradas que ocupan estos servicios.

F. Propuesta Tecnológica

Según el Premio Nacional de Tecnología e Innovación (2016), la tecnología es vista como el conjunto de conocimientos, formas, métodos, instrumentos y procedimientos, que permiten combinar los diferentes recursos y capacidades en los procesos productivos y organizativos, para lograr que éstos sean los más eficientes y con mayor valor. Al realizar una propuesta tecnológica en primera instancia se resalta que, en la actualidad, las empresas prósperas siguen una estrategia de negocios conocida como mercadotecnia de relaciones, la cual comprende forjar relaciones de largo plazo con los clientes ofreciéndoles valor real

por el precio. El éxito de todo programa de mercadotecnia de relaciones, depende inicialmente de conocer el mercado (Hair, Bush, y Ortinau, 2009, p.5). Es visto con los resultados obtenidos, que los giros industriales de manufactura del sector textil, papelero, químico, cementero y de producción de alimentos, junto con el giro de la construcción y el giro de petroquímica e hidrocarburos, resultaron los de mayor participación, y por tanto, los giros preponderantes como mercado potencial del sector.

Para toda empresa a ser un laboratorio especializado en ensayos no destructivos, la mayor ventaja competitiva quedará representada por el proceso de certificación, siendo este el elemento preponderante dentro de la propuesta tecnológica. En un esquema competitivo para una plantilla de personal, se recomienda de inicio contar con al menos un técnico certificado Nivel III y sus técnicos de apoyo, en una técnica superficial y en una técnica volumétrica, para cumplir así con los principales requerimientos del mercado, y emprender una penetración dentro de la demanda atendida de una manera no satisfactoria dentro de este campo. Al contar con un personal certificado Nivel III, la organización puede ajustar su programa de Certificación bajo el esquema por empleador, desarrollando bajo la Práctica Recomendada Nro. SNT-TC-1A, las directrices para emprender sus programas de certificación del personal desde el Nivel I hasta el Nivel III. Sus lineamientos pueden ser modificados y adaptados en función de las necesidades de la organización, pero siempre debidamente avalados por un profesional Nivel III. Es importante resaltar que el sector aeronáutico maneja su propia normatividad para la certificación y calificación del personal en ensayos no destructivos, esto bajo la norma NAS 410, sin embargo, este representa un sector muy específico.

Posterior al contar con técnicos certificados y así aumentar la plantilla base, se puede encaminar al proceso de acreditación del laboratorio ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), siendo requisito indispensable de la Norma NMX 17025, para el caso de los laboratorios de ensayos no destructivos, contar con la previa certificación técnica del personal.

Fue visto que, el 46% de las empresas aplican los ensayos no destructivos en la etapa de comprobación de partes o componentes que se encuentran en servicio, siendo por la denominación de los giros representados, los recipientes a presión, las flechas, rodillos, ductos, y tuberías los elementos principales a evaluar.

Para seleccionar un método como el más apropiado, es importante tener claro que todas las técnicas de ensayos no destructivos, presentan ventajas y limitaciones en cuanto a la detección y dimensionamiento de defectos y discontinuidades, por lo que es necesario el uso de más de una técnica no destructiva para una evaluación completa; de hecho, cumplir con la aplicación de al menos una técnica superficial y una volumétrica, es un aspecto regulatorio citado en la Norma Oficial Mexicana NOM-020-STPS-2011 de Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas, esto es una requisición para todas las empresas que posean y mantengan operativos equipos de este tipo dentro de sus industrias. Lo mismo cita el código ANSI/ASME para tuberías a presión, mientras que la AWS en sus documentos AWS 01.1 y D1.1 establece requerimientos sobre la ejecución de estos ensayos para todo tipo de soldadura estructural. Asimismo, la Norma Oficial Mexicana NOM-027-SESH-2010, la NOM-EM-003-ASEA-2016, el código API 5L, API 6A, API 6D, API 16A, y API 1104, que son aplicables al sector de petroquímica e hidrocarburos, establecen igualmente la requisición de estos ensayos.
Ante todo ello como técnicas superficiales, se recomienda de inicio la certificación y el adiestramiento del personal en Líquidos Penetrantes o Partículas Magnéticas. Son técnicas que permitirán identificar las zonas con posibles defectos o discontinuidades, esto sin caracterizarlas.

Como técnicas volumétricas se plantean las inspecciones Ultrasónicas, de preferencia por arreglo de fases para detectar defectos y el Ultrasonido de medición de espesores para evaluar la corrosión, esto es para todo tipo de empresa del sector industrial: papelera, textil, química, producción de alimentos, aeronáutica y automotriz; siendo más puntual, para el sector petroquímico e

hidrocarburos resulta apropiada la realización de Ultrasonido por Ondas guiadas. Estas técnicas mencionadas resultan las más adecuadas para la obtención rápida de resultados, en la determinación de las pérdidas de espesor, evaluación, y caracterización de discontinuidades tanto en recipientes a presión, como en elementos mecánicos operativos, estructuras y tuberías.

Los ensayos Ultrasónicos, por medio de la excitación de un transductor piezoeléctrico, convertirán la energía eléctrica en energía mecánica, produciendo vibraciones ultrasónicas a muy altas frecuencias (mayores a 20 kHz), cuando las ondas ultrasónicas chocan con la discontinuidades presentes en el material, se reflejan, y son detectadas por el palpador (Mendoza, Quintero, y Santos, 2010, p. 174). Por otra parte, la técnica volumétrica de Ondas Guiadas detecta defectos en tuberías con o sin recubrimientos. Sharghi, Samani, Ramos, y Keck (2009), describen que por medio de un anillo de transductores, que puede ser rígido o flexible según el diámetro de la tubería, se generan pulsos de ondas que recorren la pared de la misma en ambas direcciones, el equipo capta y analiza cualquier eco de las ondas para detectar defectos que afecten la continuidad de la línea. Ambas técnicas aplicadas de una manera correcta resultan eficientes en cuanto al tiempo de inspección, respondiendo así al principal requerimiento del mercado.

Es importante resaltar que, técnicas como las Corrientes Eddy, Emisión Acústica y la Radiografía Industrial, también son recurrentes; sin embargo, tienen alto costo de aplicación y una inversión en equipo considerablemente alto, presentando ciertas dificultades para la interpretación de resultados por la complejidad de las técnicas, además de problemas de seguridad industrial en el caso de la Radiografía. Sin embargo, como ha sido expuesto, todas las técnicas son complementarias, y su selección depende en gran parte de las características en campo o requerimientos normativos y del cliente en particular.

IV. Discusión y conclusiones

Se ha identificado un amplio sector de oportunidad que facilita la implementación de un plan de negocio para una empresa prestadora de este tipo de servicios. Bajo un enfoque competitivo e innovador, las organizaciones deben enfocarse en satisfacer las necesidades del cliente en cuanto a calidad, tiempo y costo.

La ventaja competitiva crecerá fundamentalmente en razón del valor que la empresa es capaz de generar. El concepto de valor viene a representar lo que los compradores están dispuestos a pagar, y el crecimiento de este valor a un nivel superior se puede enfocar hacia dos vertientes: la primera, a la capacidad de ofrecer precios más bajos contra los competidores por beneficios equivalentes; o, la segunda, en proporcionar beneficios únicos en el mercado que puedan compensar los precios más elevados. Para este caso, se recomienda a las empresas en ensayos no destructivos utilizar este último criterio, enfocado en ofertar servicios de calidad respaldados por una certificación, técnicas y equipos de rápida inspección, en donde un dictamen venga respaldado por la interpretación y análisis de datos obtenidos, dándole así el valor agregado al cliente, y el factor diferenciador ante la competencia.

Referencias Bibliográficas

[1] Andía, V. (Noviembre, 2011). La demanda insatisfecha en los proyectos de inversión pública. *Industrial Data*, *14*(2), 67-72.

[2] Baca Urbina, G. (2001). *Evaluación de Proyectos* (6ª ed.). México: McGraw Hill.

[3] García Cueto, A.R. (2007). *Introducción a los ensayos no destructivos*. México: IMENDE A.C.

[4] Gros, X. E. (1997). *NDT Data Fusion*. (1ª ed). Londres: Arnold.

[5] Hair, J.F.; Bush, R.P. y Ortinau, D.J. (2009*). Investigación de Mercados* (4ª ed.). México: The McGraw Companies.

[6] Hellier, C. (2003). *Handbook of nondestructive evaluation*. México: The McGraaw Hill Companies.

[7] Hernando Trujillo, C.; Parra L, H.; y Ospina López, R. (2011).Aplicación y Selección de Ensayos No Destructivos para la evaluación de Uniones Soldadas. *Scientia et Technica*, *XVI* (48), 196-201. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622035

[8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Micro, Pequeña, mediana y gran empresa - Estratificación de los establecimientos. Censos Económicos 2014*. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825077952.pdf

[9] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *Resultados definitivos Julio 2015 - Censos Económicos 2014*. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ce/ce2014/doc/pres

entacion/pprd_ce2014.pdf
[10] Mendoza González, E.Y., Quintero, Ortiz, L. A., y Santos Castañeda, G. (2010). Ensayos no destructivos como herramienta para el dimensionamiento de discontinuidades en la superficie externa de tuberías. *UIS Ingenierías, 9*(2), 171-181.
[11] Peniche Camps, S.; y Mireles Prado, J. (2015). El diamante mexicano: El Bajío bajo los ojos de los gobiernos del BID y del BM. *Trayectorias*, *17*(41), 29-51.
[12] Pérez Tejada, H. E. (2008). *Estadística para las ciencias sociales, del comportamiento y de la salud* (3ª ed.). México: CENGAGE Learning.
[13] Porter, M.E. (2007).La ventaja competitiva de las naciones. *Harvard Business Review América Latina*, *85*(11), 69-95.
[14] Premio Nacional de Tecnología e Innovación. (2016). XVIII Edición – Creando entornos que generan innovación. Recuperado de http://www.fpnt.org.mx/images/stories/Calendario2015/MODELO-GDT.pdf
[15] SENER Subsecretaria de Hidrocarburos - Unidad de Políticas de Transformación Industrial – Dirección General de Petrolíferos. (2015). *Infraestructura Nacional de Petrolíferos.* Recuperado de http://www.gob.mx/sener/articulos/mapa-infraestructura_nacional-de-petroliferos-31065
[16] Sharghi,R.S., Samani, K., Ramos,P. y Keck,D. (2009). The application of guide waves for the detection of corrosion under insulation. *Materials Evaluation, 67* (9), 1043-1047.
[17] Sollerio, J. y Castañón, R. (2004). Competitividad y sistemas de innovación: los retos para la inserción de México en el contexto global. *Globalización, Ciencia y Tecnología, 2*, 165-195.
[18] Stratfor (2013). Developing Mexico's Bajio Region. Recuperado de http://www.stratfor.com/sample/image/developing-mexicos-bajio-region
[19] Unger, K., Garduño, R., e Ibarra, J. E. (2014). Especializaciones reveladas y ventajas competitivas en el Bajío mexicano. *EconoQuantum*, *11*(2), 41-74. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-66222014000200002

Fecha de recepción: 21 de abril de 2017
Fecha de aceptación: 1 de junio de 2017

Modelo de gestión de riesgos: una base para la gestión de proyectos

LP Rudas Tayo [1] y JA Gutiérrez Bravo[2]

RESUMEN
Este artículo presenta la propuesta de un modelo de gestión de riesgos para la empresa Industrial Automation México, resultado del análisis de la estructura actualmente diseñada para su gestión de proyectos. El trabajo de investigación tuvo como objetivo explorar herramientas que pudieran optimizar los resultados en sus indicadores de tiempo, costo y calidad, así como fomentar una cultura preventiva, más que reactiva, en las diferentes fases de cada proyecto realizado en la empresa. Como resultado del ejercicio, luego de analizar algunos planteamientos sobre la gestión de proyectos utilizados y aprobados a escala internacional, se evidenció la necesidad de proponer la inclusión de un modelo de gestión de riesgos adaptado a las necesidades de la organización como estrategia para la planeación, control y prevención de los eventos que puedan afectar los proyectos, desde el inicio hasta su cierre. Las características principales del modelo propuesto son una compilación de las mejores prácticas estudiadas, alineada a las características de la empresa. En este trabajo, además, se muestran los resultados positivos de la fase de experimentación del modelo de gestión de riesgos con un proyecto real de la empresa, donde se reconoce como un elemento importante de la estrategia corporativa y del proceso de toma de decisiones.

Palabras clave: gestión de proyectos, gestión de riesgos, modelo

ABSTRACT
This paper presents the proposal of a Risk Management Model for the company Industrial Automation México, as a result of the analysis of the structure currently designed for its Project Management. The research work was aimed at exploring tools that could optimize the results in their indicators of time, cost and quality and to promote a preventive culture rather than reactive in the different phases of each project carried out in the company. As a result of the exercise and after analyzing some approaches on the management of projects used and approved worldwide, there was a need to propose the inclusion of a Risk Management Model adapted to the needs of the organization as a strategy for planning, control And prevention to the events that can affect the projects from the beginning until its closure. The main features of the proposed Model are a compilation of the best practices studied, aligned with the characteristics of the company. This work also shows the positive results of the experimentation phase of the Risk Management Model with a real project of the company, where the process is recognized as an important element of the corporate strategy and the decision making process.

Keywords: project management, risk management, model

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los planteamientos que se han hecho para definir un proyecto a lo largo de la historia, en la industria dedicada al diseño, automatización y desarrollo de nuevos productos, el concepto podría verse alineado como la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema, la cual tiende a resolver una necesidad humana (Urbina, 2010).

Derivado de esta búsqueda para dar respuesta efectiva a los requerimientos de los clientes, las organizaciones han venido implementado, de manera vertiginosa, sistemas que puedan adaptarse a sus necesidades para la gestión o dirección de sus proyectos, con el objetivo de tener un enfoque metódico basado en la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas para la estandarización de las actividades desarrolladas. Estos sistemas son implementados desde el inicio de cada proyecto y pasan por las fases de planeación, ejecución, monitoreo y control, hasta su cierre, para con ello lograr el cumplimiento de los requisitos de los clientes, así como los objetivos planteados por la organización.

[1] Leidy Paola Rudas Tayo (Leidy.rudas@ciateq.edu.mx): Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ, AC; San Agustín del Retablo 150, Constituyentes Fovissste, CP 76150, Santiago de Querétaro, Qro.
[2] Jorge Armando Gutiérrez Bravo (jgutierrez@ia-way.com): Industrial Automation México; Terra Business Park 97A, 1er retorno universitario núm. 1, Circuito Universidades, CP 76269, El Marqués, Qro.

La empresa Industrial Automation México, que es objeto de caso de estudio, actualmente cuenta con un sistema de gestión de proyectos relativamente joven en su implementación; por ende, aún cuenta con algunas áreas de oportunidad susceptibles de mejora. Al analizar los resultados de los indicadores de cumplimiento de tiempo, costo y calidad de los proyectos ejecutados en el último año, se encontró que no fueron los esperados, de acuerdo con lo inicialmente planificado.

En la figura 1 se muestran los resultados del análisis al término de tiempo en 16 proyectos del año 2016; en ellos, se observa que ninguno finalizó en el tiempo planeado: en seis, hubo una desviación aproximada del 50%; en nueve, la desviación fue de entre 100 y 233%, y un proyecto presentó una desviación por encima del 500%.

La información sobre las causas que ocasionaron el impacto o la desviación negativa en el cumplimiento del tiempo estimado para los proyectos no se encuentra documentada; sin embargo, en las entrevistas llevadas a cabo para la recopilación de la información, se tomaron las observaciones o conclusiones de los project managers y se alimentó una base de datos de lecciones aprendidas, la cual se presenta como producto entregable de este proyecto de investigación.

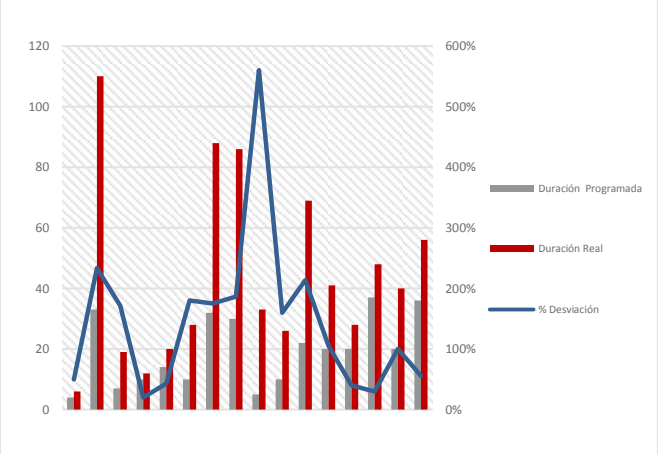


Figura 1. Desviación en tiempo-proyectos ejecutados en el año. Fuente: elaboración propia.

Ante estos resultados, anudados a las desviaciones que se obtuvieron en los indicadores de costo y calidad, surge la necesidad de este trabajo de investigación, a través del cual se pretende analizar el sistema de gestión de proyectos actual con el objetivo de proponer un modelo que se ajuste a las necesidades de la empresa y que, permita como lo sostienen Díaz, Leyva y García (2013) brindar preparación para anticipar posibles situaciones adversas, con estrategias para la toma de acciones destinadas a eludir y reducir la exposición a los costos u otros efectos de aquellos eventos que ocurran, en lugar de reaccionar después de que un evento ya ha ocurrido e incurrir en los costos que implican recuperar una situación.

A. Contexto de la gestión de proyectos

Un proyecto generalmente se caracteriza por ser un conjunto de *esfuerzos temporales* (Chamoun, 2002) —es decir, que posee un inicio y un fin—, por su *singularidad*, que generan un producto, servicio o resultado único, y por su *elaboración gradual* (Moreno, 2013). Para facilitar la gestión, los proyectos tienden a dividirse en diferentes fases que conforman su ciclo de vida.

La gestión de proyectos incluye la integración de las diversas fases de su ciclo de vida (ISO21500, 2012); lograrlo influirá en el éxito que se pueda alcanzar. Estas fases pueden variar dependiendo del estándar a seguirse en cada organización. En este caso de estudio, se han revisado tres estándares utilizados internacionalmente que sugieren un compilado de buenas prácticas para la gestión de proyectos, la guía de los fundamentos para la dirección de proyectos PMBOK, el estándar creado en el Reino Unido, Projects In Controlled Environments (PRINCE2), y la guía de orientación sobre la gestión de proyectos ISO 21500, con el fin de identificar sus planteamientos sobre la estructura propuesta para la gestión de proyectos.

En el estudio de estos tres estándares, se puede concluir que las estructuras propuestas serán funcionales, dependiendo de las necesidades de la empresa que requiera adoptarlas. El PMBOK y la ISO 21500 son estándares orientados a proyectos, mientras que PRINCE2 está enfocado en las organizaciones. El PMBOK es el estándar más extendido a nivel teórico y su gran difusión le hace ser la base más utilizada para la elaboración de metodologías. Por otra parte, se considera que el método propuesto en PRINCE2 resulta también muy útil a nivel práctico; incluso se puede usar como

metodología sin necesidad de grandes modificaciones (Montes, Ramos y Díez, 2013). Es posible encontrar similitudes en algunas de las áreas de conocimiento que se plantean, como integración, recursos, riesgos y calidad.

ISO 21500	PMBOK	PRINCE2
Integración	Integración	*Business case*
Partes interesadas	Interesados	
Alcance	Alcance	
Recursos	Recursos humanos	Organización
Tiempo	Tiempo	
Costos	Costos	
Riesgos	Riesgos	Riesgos
Calidad	Calidad	Calidad
Adquisiciones	Adquisiciones	
Comunicación	Comunicaciones	
--	--	Planes
--	--	Cambios
--	--	Progreso

Tabla 1. Áreas de conocimiento en estándares internacionales
Fuente: Elaboración propia.

B. Contexto de la organización

La empresa que es objeto de caso de estudio cuenta con casi cinco años de implantación en México. Inició sus primeros años con proyectos pequeños y una plantilla de veinte personas; sin embargo, a través de los resultados en los proyectos ejecutados y la gestión comercial, en el segundo año de operación aumentó en 114% las cifras de ventas y, por ende, el desarrollo de proyectos de gran tamaño y complejidad. Ante estas actividades, se designó la figura de *project manager* para coordinar las actividades sobre todas las áreas involucradas en el proyecto (diseño, manufactura, control, programación y ensamble).

En el año 2016, el *project manager*, de ser ejecutor, pasó a ser gestor o administrador de proyectos; se designaron entonces gerentes de especialidad, por la necesidad de que el project manager concentrara sus esfuerzos en la planeación, gestión y control de sus proyectos. No obstante, aún se conservan antiguas mentalidades de ejecutores, por lo que surge la necesidad de estructurar y documentar las actividades enmarcadas en un sistema de gestión de proyectos que permita optimizar los resultados, estandarizar actividades y gestionar y controlar los procesos.

La estructura actual del sistema de gestión de proyectos cuenta con cinco fases definidas: *discovery* (análisis y estimaciones), *kick off* (arranque del proyecto y planificación), *follow up* (seguimiento y control), *deliveries* (entregables) y *wrap up* (cierre). Los procesos definidos para llevar a cabo estas fases evidencian alineación con algunas áreas del conocimiento de proyectos; sin embargo, en las fases propuestas para la gestión de proyectos no se incluyen actividades encaminadas a la gestión de riesgos, así como tampoco una actividad de cierre en la que se expongan las lecciones aprendidas, los riesgos controlados y los que impactaron el proyecto.

Luego de realizar una revisión a detalle de los procesos que conforman esta estructura, tomando de referencia el estudio previo de estándares (ver tabla 1), se encontraron analogías en algunos procesos, como la integración de un plan de proyecto, recursos, calidad, procesos para el tiempo y costo de los proyectos; sin embargo, de manera puntual se encuentra como un área de oportunidad la ausencia de la gestión de riesgos como parte integral de las actividades para gestionar los proyectos, proceso que se encuentra definido en las tres referencias estudiadas.

C. Gestión de riesgos en proyectos

El término *riesgo* generalmente se refiere a un evento incierto que, de producirse, podría tener un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto (PMI, 2013). Chapman y Ward (2003) argumentan que todos los proyectos implican riesgos y que, de hecho, el riesgo está presente en todos los aspectos de nuestras vidas; por lo tanto, la gestión de riesgos es universal. Hasta hace poco, sin embargo, en proyectos, la gestión del riesgo se consideraba como un complemento, en lugar de ser parte de la práctica efectiva de la gestión de proyectos.

El estándar (PMI, 2013) define que los objetivos de la gestión de los riesgos de un proyecto consisten en aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos

positivos, así como disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos negativos. Para tener éxito en la gestión de proyectos, una organización debe comprometerse a abordar la gestión de riesgos de manera proactiva y consistente a lo largo del proyecto. Se debería realizar una elección consciente en todos los niveles de la organización para identificar activamente y procurar una gestión de riesgos eficaz durante la vida del proyecto.

Llegar a una integración de la gestión de riesgos con la estructura de gestión de proyectos en una organización es el reto y propósito de estudio de esta investigación.

D. Modelos de gestión de riesgos

De los estándares estudiados previamente, se analizó el modelo planteado para la gestión de riesgos en cada uno. Se observa que la estructura presenta similitudes en todos los casos, de modo que, al homologar los términos utilizados para cada enfoque, finalmente quedaría una estructura, en términos genéricos, de la siguiente manera: planificar la gestión, identificar los riesgos, analizar y evaluar los riesgos, planear respuestas y seguimiento y control de riesgos.

PROCESOS ESTÁNDAR	PMI PMBOK (2013)	ISO 21500 (2012)	PRINCE2 (2009)
Planificación	X		
Identificación	X	X	X
Análisis / valoración	X	X	X
Respuesta a los riesgos	X	X	X
Monitoreo / control	X	X	X

Tabla 2. Procesos de gestión de riesgos
Fuente: Elaboración propia

La gestión de riesgos planteada por PRINCE2 se divide en dos procesos: *(a)* análisis de riesgos y *(b)* gestión de riesgos; a su vez establece, para cada uno de estos procesos, un bloque de actividades (ver tabla 3).

El estándar ISO 21500 presenta un enfoque sencillo y básico para la gestión de riesgos. Dentro de cada proceso, define el propósito de las actividades, los responsables, algunas definiciones y elementos de entrada y salida; sin embargo, no detalla ninguna de ellas, así como tampoco sugiere herramientas o técnicas para la ejecución de cada proceso.

PROCESO	ACTIVIDADES
(a) Análisis del riesgo	1. Identificación 2. Estimación 3. Evaluación
(b) Gestión del riesgo	1. Planificación 2. Asignación de recursos 3. Monitoreo 4. Control

Tabla 3. Procesos para la gestión de riesgos en PRINCE2
Fuente: Metodología de Gestión de Proyectos de PRINCE2 (Reino Unido, 2009).

Por otra parte, PMBOK es el estándar que presenta mayor nivel de detalle en la descripción cada uno de sus procesos; define elementos de entrada, salidas, herramientas, actividades y responsables, define el objetivo de cada proceso y los beneficios clave que conlleva implementarlos.

II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología aplicada en el desarrollo del trabajo de investigación tiene un enfoque cualitativo (Sampieri, Fernández y Lucio, 2006) y el diseño metodológico con el cual se desarrolla comprende cinco fases: *(1)* recopilación y análisis de información objeto de la investigación; *(2)* revisión del estado actual de la empresa; *(3)* diseño de propuesta del modelo; *(4)* experimentación y *(5)* documentación de resultados y entregables.

En la primera fase, se realizó la consulta de antecedentes bibliográficos con tres objetivos: comprender cómo se han incluido los riesgos como área de conocimiento en la gestión de proyectos, identificar la estructura que plantean modelos de gestión de riesgos y conocer la evolución o desarrollo de la aplicación de esta área en las organizaciones. Posteriormente, se hizo la revisión del estado actual de la empresa, en comparación con los resultados ya mencionados y analizados en el apartado anterior.

Propuesta del modelo. Derivado del estudio anterior, se realiza la propuesta del modelo de gestión de riesgos para la empresa objeto del caso de estudio, mediante una compilación de las buenas prácticas estudiadas en los tres estándares presentados, ajustados a las necesidades y a la estructura de la empresa Industrial Automation.

Como punto de partida para diseñar la propuesta, se definen los procesos que conformarán el modelo de gestión de riesgos, los cuales se registran en la tabla 4, con su respectiva descripción.

Para la integración de los procesos del modelo de gestión de riesgos a la estructura de su sistema de gestión de proyectos, se tuvieron en cuenta las tres fases actualmente implementadas para llevar a cabo los proyectos: *(1)* estimación, *(2)* cotización y *(3)* ejecución.

Luego del análisis realizado, de acuerdo con el estudio previo de estándares, se propone establecer la gestión de riesgos como base de las fases del desarrollo de proyectos, pues debe iniciar desde que se recibe el requerimiento de un cliente (estimaciones) y concluir hasta el cierre del proyecto. Se establece la gestión de riesgos también como la estrategia para la toma de decisiones —o momento de verdad— que se ilustra en la figura 2 a manera de compuertas en cada fase (barras amarillas). Se incluye, además, en el esquema general como salida al proceso, la gestión de conocimiento, reflejada en riesgos controlados, riesgos que impactaron y lecciones aprendidas del proyecto.

El modelo de gestión de riesgos inicia en la fase de *discovery* (análisis y estimaciones), en la que se hace un filtro o análisis de factibilidad para la toma de decisión acerca de cotizar o no el requerimiento del cliente; luego interviene en el proceso de cotización, donde, antes de enviar la propuesta al cliente, se analizan y evalúan los riesgos. Por último, en la fase de ejecución, a partir del *kick off*, el project manager recibe el proyecto y se reúne con todos los gerentes de especialidad, así como partes interesadas, para continuar con el proceso de gestión de riesgos.

PROCESOS	DESCRIPCIÓN
1. PLANIFICACIÓN	1. Integración del modelo de gestión con el sistema de gestión de proyectos. 2. Documentar el procedimiento que describe las actividades o reglas del modelo de gestión de riesgos, roles y responsabilidades, criterios de evaluación y respuesta, alcance del modelo y frecuencia de aplicación en las diferentes fases de la ejecución de un proyecto. 3. Generar la plantilla para la gestión de riesgos.
2. IDENTIFICACIÓN	1. Identificación de riesgos que pueden afectar los objetivos del proyecto. 2. Aplicar técnicas propuestas para la identificación de riesgos. 3. Descripción del riesgo, causas y consecuencias 4. Documentar los riesgos en la plantilla para la gestión de riesgos.
3. EVALUACIÓN	1. Analizar los riesgos y ponderar la probabilidad de que el riesgo ocurra, así como su impacto sobre los objetivos del proyecto. 2. Totalizar el riesgo según criterios establecidos en la matriz de impacto y probabilidad. 3. Documentar en la plantilla para la gestión de riesgos.
4. RESPUESTA	1. Determinar la respuesta y el plan de acción a tomar. 2. Establecer a los responsables de las acciones y las fechas de seguimiento. 3. Documentar en la plantilla para la gestión de riesgos.
5. MONITOREO	1. Integrar el seguimiento de los riesgos con el monitoreo o control del proyecto. 2. Establecer revisiones periódicas del estado de los riesgos y, sobre la finalización de cada fase de la gestión de proyectos, hacer reevaluaciones de riesgos (se pueden incluir nuevos riesgos). 3. Analizar el tratamiento y cierre de riesgos al finalizar el proyecto y análisis de los impactos generados en los objetivos del proyecto. 4. Documentar en la plantilla para la gestión de riesgos. 5. Documentar las lecciones aprendidas derivadas de la gestión de riesgos del proyecto.

Tabla 4. Procesos del modelo de gestión de riesgos propuesto
Fuente: elaboración propia con base en las buenas prácticas de los estándares estudiados.

Figura 2. Integración de gestión de riesgos con estructura del sistema de gestión de proyectos IA.
Fuente: elaboración propia.

Se prosiguió con el planteamiento del esquema para la gestión de riesgos en cada fase. Para ello, se diseñaron modelos estructurados con elementos de entrada, actividades de los procesos de gestión de riesgos y elementos de salida del proceso. En este artículo sólo se presenta el modelo de la fase de ejecución (figura 3), teniendo en cuenta que fue esa fase en la que se realizó la experimentación del modelo.

Los elementos de entrada para dar inicio al proceso de identificación de riesgos se describen a continuación:

Riesgos fase II. Son los riesgos que se analizaron en las fases de estimación y cotización, los cuales deben ser tomados en cuenta para el análisis en la fase de ejecución.

Categorías de riesgos. Son definidas en sesión de planificación y análisis con las partes interesadas y expertos en gestión de proyectos de la empresa caso de estudio. Se documentaron en el instructivo anexo de la plantilla de gestión de riesgos y en el procedimiento.

Lecciones aprendidas. Se documentó la propuesta de una plantilla para el registro de lecciones aprendidas y se inició la documentación de lecciones de los proyectos analizados del año 2016.

Riesgos recurrentes. Se documentó la propuesta de una plantilla para el registro de riesgos recurrentes y se inició la documentación con lo expuesto por los project managers de los proyectos analizados del año 2016 y por los líderes de especialidades (diseño mecánico, manufactura).

Banco de proyectos realizados. La empresa caso de estudio cuenta con la documentación.

Red de expertos. Se documentó una plantilla de guía para la creación de una base de datos de expertos de la empresa, con el ánimo de tener disponible el conocimiento de la organización.

Presupuesto, alcances-entregables, plan de trabajo. Son los documentos iniciales del proyecto que se tienen implementados.

III. RESULTADOS

Para la experimentación del modelo planteado, se tomó el proyecto núm. 2863, que se encontraba iniciando su fase de ejecución, con el objetivo de identificar la pertinencia y los beneficios de la implementación del modelo de gestión de riesgos en un proyecto.

Figura 3. Modelo de gestión de riesgos en fase de ejecución de proyectos.
Fuente: elaboración propia.

Partiendo de los elementos de entrada definidos en el modelo para la fase de ejecución (ver figura 3), se aplicaron las actividades de los procesos de gestión de riesgos (identificación, evaluación, respuesta y monitoreo), en primer instancia como resultado del proceso de *identificación* de riesgos. En total, se determinaron 25 eventos ("riesgos") por las diferentes partes interesadas del proyecto, con las que se realizó la experimentación (project manager, diseño mecánico, diseño eléctrico y manufactura). En el siguiente proceso de *evaluación*, se definieron las causas y consecuencias de los eventos identificados; posteriormente, se clasificaron según el impacto en el objetivo del proyecto (costo, tiempo y calidad) y se obtuvieron los siguientes resultados: 15 eventos están relacionados con el factor tiempo del proyecto, 8 se relacionan con la calidad, y 2, con los costos (ver figura 4); lo anterior representa una analogía en relación con el análisis de proyectos ejecutados en el año anterior, donde el objetivo o restricción con más riesgos fue el tiempo.

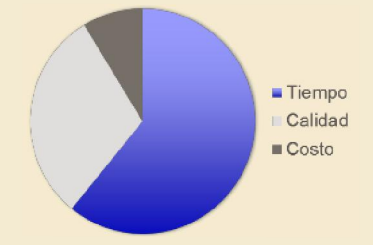


Figura 4. Objetivos impactados en el análisis de riesgos, proyecto núm. 2863.

Fuente: elaboración propia.

En la evaluación de probabilidad e impacto, 3 eventos fueron evaluados con menos de 8 (nivel bajo); 7 eventos fueron evaluados con más de 16 (nivel alto), y 15 eventos obtuvieron evaluaciones de 10 a 15 (nivel medio).

En el tercer proceso del modelo de gestión de riesgos, se generó el plan de *respuesta* a los eventos identificados. Según el cálculo de impacto y probabilidad, se determinó la estrategia de respuesta con su plan de acción.

Después de la aplicación de las tres primeras fases del modelo de gestión de riesgos en el proyecto en ejecución, se realizó un análisis del ejercicio con todas las partes interesadas del proyecto; de esta manera, se pudo identificar que 13 eventos señalados como *riesgos* ya se habían convertido en *problemas* y se procedió a documentarlos como lecciones aprendidas. La organización implementará planes de acción y, derivado de estos problemas, definirá lineamientos que eliminen las causas que los generaron.

De los eventos que sí representaban riesgo para el proyecto a la fecha de corte de esta publicación, atendiendo el proceso de *monitoreo*, se han cerrado o mitigado riesgos que se traducen en beneficios para la organización, gracias a la efectividad en la implementación de los planes de respuesta a riesgos identificados, así como al seguimiento continuo del project manager asignado al proyecto. Algunos de los más significativos se describen a continuación:

Reducción de costos:

-Reducción de más de 4,000 dólares del presupuesto del proyecto, gracias a la utilización de materiales sobrantes en *stock* de almacén de otros proyectos.
-Descuento del 25% en proveedor AW, así como de 2.5% en los proveedores Dimeid y Calvek
-Logro de envío sin costo de uno de los componentes críticos del proyecto adquirido con proveedor de España.

Reducción de tiempo:

-Se logró tiempo de entrega de componentes críticos del proyecto 8 días antes del pactado por negociaciones extraordinarias con los proveedores.
-Se consiguió un proveedor con menor tiempo para trámites de importación.
-Asignación temprana de recursos humanos de ensamble al proyecto.
-Asignación de otro ingeniero al proceso de diseño eléctrico para asegurar cumplimiento de labores y el conocimiento del proyecto.
-Revisión oportuna con el cliente de sus necesidades antes de la liberación de diseño a manufactura.

Aseguramiento de calidad:

-Aseguramiento de acuerdos con el cliente en cuanto a características y funcionalidad de la estación.
-Implementación de reunión de empalme o entrega de diseño a manufactura.
-Visitas al cliente para afinar y determinar requisitos.
-Estudio de manuales de componentes con antelación antes de la llegada a México para ensamble.

IV. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian, mediante datos duros, el impacto positivo de la implementación de un modelo de gestión de riesgos en una organización que desarrolla proyectos, lo cual se refleja en los beneficios tangibles de reducción de costos, aseguramiento de calidad y tiempo de los proyectos según lo planificado.

En el análisis del ejercicio de experimentación del modelo, una de las conclusiones se relaciona con la clara necesidad de llevar a cabo la implementación del modelo de gestión de riesgos desde el inicio de un proyecto, pues, como se pudo observar, iniciarla en la fase de ejecución conlleva a la detección tardía de eventos que pueden afectar los objetivos del proyecto.

Por otra parte, se pudo identificar que los riesgos de entrada para la implementación de un modelo de gestión de riesgos en una empresa inician por el desconocimiento del tema de los actores principales, para lo cual se recomienda un completo programa de capacitación y acompañamiento a los usuarios del Modelo con el fin de optimizar su asimilación, adaptación y conocimiento de los conceptos de Gestión de Riesgos.

Para trabajos futuros, puede considerarse el estudio y la implementación de la cultura organizacional relacionada al riesgo, lo cual permitirá desarrollar una cultura proactiva para responder a los riesgos, como parte de un proceso continuo de enseñanza y

aprendizaje. La participación de los miembros de la organización en todos los niveles permitirá crear ese alto grado de conciencia, necesario para que el personal se identifique con las funciones y responsabilidades que se tengan asignadas.

En términos generales, la inclusión de un modelo de gestión de riesgos en la estructura de gestión de proyectos se puede traducir en beneficios presentes y futuros para toda empresa, pues permite responder proactivamente al riesgo para evitar improvisaciones ante la ocurrencia o activación de eventos adversos, a fin de lograr el incremento de los resultados positivos en los objetivos fundamentales del proyecto: tiempo, costo y calidad. Asimismo, se aborda la *gestión del conocimiento,* factor clave que permite disponer de los datos históricos sobre la ocurrencia de riesgos, lecciones aprendidas, riesgos mitigados y riesgos que impactaron los proyectos anteriores, a fin de generar un banco de información disponible para ser utilizado en el futuro.

V. AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a la organización industrial Automation México y a sus directivos por su apoyo en el desarrollo de este trabajo de investigación al proporcionarnos los recursos necesarios para llevar a cabo las actividades.

VI. REFERENCIAS

(1). Chamoun Y. (2002). *Administración Profesional de Proyectos*. Ciudad de México: Mc Graw Hill.

(2). Chapman C y Ward S (2003). *Project risk management-processes, techniques and insights (2a ed.)*. Chichester: John Wiley & Sons.

(3). Díaz NH, Leyva MY y García BC (2013). Modelos causales para la Gestión de Riesgos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 4.

(4). ISO21500 (2012). *Guidance on project management*. Suiza: ISO Intenational Standard.

(5). Montes-Guerra MI, Ramos FN y Díez-Silva, HM (2013). Estándares y metodologías: instrumentos esenciales para la aplicación de la dirección de proyectos. Navarra, España.

(6). Moreno GA (2013). *Metodología para la gestión de proyectos bajo los lineamientos del Project Management Institute en una empresa del sector eléctrico*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

(7). PMI (2013). PMBOK, *guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*. Pensilvania: Project Management Institute.

(8). Sampieri RH, Fernández-Collado C y Lucio PB (2006). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw-Hill.

(9). Unido OD (2009). *Metodología y gestión de proyectos, manual PRINCE 2 (5a ed.)*. Reino Unido.

(10). Urbina GB (2010). *Evaluación de Proyectos*. Ciudad de México: McGraw-Hill.

Fecha de recepción: 12 de julio de 2017
Fecha de aceptación: 30 de octubre de 2017

Gestión ambiental e innovación, dos componentes clave de la competitividad de las medianas empresas metalmecánicas

Leoncio Baltazar Baltazar-Jiménez*

Resumen

El objetivo central de esta investigación es el de analizar el papel de la innovación como parte de la gestión ambiental (GA), así como el impacto de esta en la competitividad de las medianas empresas metalmecánicas ubicadas en Querétaro, México. La estrategia metodológica es cuantitativa y está basada en un estudio de once empresas elegidas de manera aleatoria del Directorio Nacional de Unidades Económicas (DNUE) del INEGI. El instrumento de recolección fue un cuestionario compuesto por 31 ítems. El estudio de la gestión ambiental se llevó a cabo mediante las siguientes categorías: implantación del sistema, inversiones medioambientales, formación de personal y aprovisionamiento. La competitividad se analizó desde las categorías: planeación estratégica, aprovisionamiento, calidad, comercialización, recursos humanos y finanzas. Los resultados encontrados corroboran que la innovación de los procesos productivos mediante la incorporación de ecotecnologías contribuye a la reducción de costos, además de mejorar el nivel de satisfacción del cliente y la rentabilidad de la empresa.

Palabras clave: gestión ambiental, competitividad, innovación, ecotecnologías, rentabilidad

*Doctor en Administración. Miembro del cuerpo académico "Desarrollo organizacional y sustentabilidad en empresas locales para el impulso de la innovación y competitividad de la región", Universidad Tecnológica de Querétaro, México: lbaltazar@uteq.edu.mx

Abstract

The primary purpose of this research is to analyze the role of innovation as part of environmental management (GA) and its impact on the competitiveness of the medium-sized metalworking companies located in Queretaro, Mexico. The methodological strategy is quantitative and it is based on a study of eleven companies which were randomly chosen from the National Directory of Economic Units ("DENUE" from its Spanish initials) of INEGI. The collection instrument was a questionnaire consisting of 31 items. The study of environmental management was carried out the following categories: system implantation, environmental investments, training personnel and suppliance. Competitiveness was analyzed under the categories: strategic planning, suppliance, quality, marketing, human resources and finances. The results found, corroborated that the innovation of the productive processes by means of the incorporation of ecotechnologies contributes to reduced costs, in addition, it improves the level of customer satisfaction and the business profitability.

Keywords: environmental management, competitiveness, innovation, eco-technologies, profitability

Introducción

Querétaro está catalogada como la cuarta entidad más competitiva del país (IMCO, 2016); su ascendente desarrollo y crecimiento económico la ubican como uno de los polos industriales más importantes de México (FCCyT, 2013). En esta entidad operan veintitrés parques industriales y doce se encuentran en construcción (SEDESU, 2016); las principales actividades industriales son la fabricación de autopartes, enseres domésticos, partes metalmecánicas y, recientemente, componentes para la industria aeroespacial (INEGI, 2015). En términos económicos, su desempeño va en ascenso; su producto interno bruto (PIB) creció 7.8% de 2014 a 2015, en tanto que el PIB industrial de la entidad mostró un incremento del 12.8% (INEGI, 2014). La industria metalmecánica en Querétaro se ha caracterizado por tener un importante papel en el tema económico; el número de empresas nuevas de esta actividad creció 29%

entre 2007 y 2015 (INEGI, 2015). Esta industria genera alrededor de cuatro mil setecientos empleos directos, lo que representa un 36% del total del empleo generado por la industria manufacturera en el estado (INEGI, 2015).

No obstante el desempeño económico y su papel en la economía nacional, Querétaro ocupa la tercera posición como entidad federativa con el mayor número de sitios contaminados por residuos peligrosos (PROMARNAT, 2013); aunado a esto, se ha detonado un crecimiento significativo en los niveles de contaminación de suelo, aire y agua, principalmente por la descarga de residuos contaminantes con alto contenido en níquel, cianuro, plomo y cadmio[1], además de un aumento significativo en el consumo energético[2]. Estas condiciones han representado para el estado una fuerte presión, ante lo cual ha tenido que responder legislando en el tema ecológico para fortalecer la política ambiental. Otros factores, como el crecimiento industrial y poblacional, se han instaurado como detonantes de la problemática medioambiental. La creación de nuevas empresas registró un incremento del 74% entre 2009 y 2015 (SEDESU, 2015), en tanto que el crecimiento poblacional reportó un crecimiento del 12% entre 2010 y 2015 (INEGI, 2015).

Específicamente, en lo que se refiere a la industria metalmecánica instalada en Querétaro, Luna (2013) afirma que la gestión ambiental es reciente y se encuentra fuertemente impulsada por las políticas medioambientales del gobierno, además reconoce que el riesgo de operación de esta industria es alto, ya que un gran número de empresas de este sector operan en en parques industriales colindantes con zonas residenciales donde no se tiene la infraestructura adecuada para el manejo integral de los desechos industriales.

[1]De acuerdo con el INECC (2013), las descargas de estos residuos contaminantes se ubican por encima de las metas oficiales a mediano plazo para la entidad.

[2]El INECC (2013) reporta un consumo promedio de 761 megajoules por cada 1,000 dólares de producto interno bruto para la zona metropolitana de Querétaro.

Los conflictos medioambientales y el crecimiento económico marcan la pauta para estudiar la gestión ambiental como una expresión de la responsabilidad social empresarial con capacidad de conciliar los intereses ecológicos y económicos en una importante industria generadora de externalidades, la cual por un lado aporta al crecimiento económico y la creación de puestos de trabajo y, por otro, contribuye al deterioro ambiental y la degradación de los recursos naturales (Leff, 2010; Foladori, 2006).

Estas contradicciones han sido motivo de numerosos estudios relacionados con el tema. Porter y Kramer (2006) exponen el principio de valor compartido como un elemento que permite la convergencia de los intereses ecológicos y económicos; en este principio, sostienen que el uso eficiente de los recursos —suelo, agua, energía, entre otros recursos naturales— contribuye a la obtención de ventajas competitivas, y el cuidado ambiental es la principal motivación.

Porter y Linde (1995) exponen que las conductas de gestión ambiental en la empresa asociadas a su estrategia de negocio reportan ventajas competitivas en lo relativo a reducción de costos, además de que abren oportunidades de negocio para el lanzamiento de productos verdes para nuevos nichos de mercado. Otros trabajos reconocen la presión del estado desde el aspecto normativo y legal como impulsor de la gestión ambiental (Díaz, 2011; Lezama, 2006; Leal, 2005).

Sin embargo, Marcus y Fremth (2009) se proclaman en favor de una gestión medioambiental obligatoria, sostenida en un compromiso total por el entorno y basada en el uso responsable de los recursos, independientemente de los beneficios que les genere a las empresas, aunque reconocen que gestionar el medio ambiente también contribuye financieramente, a la organización ya que un uso responsable del capital natural y la disminución de desechos como parte del proceso productivo genera un valor social a la empresa (García, 2008).

En esta tesitura, es de interés para la investigación estudiar la gestión ambiental y su papel en las

acciones de responsabilidad social empresarial que ejercitan las medianas empresas de la industria metalmecánica en el municipio de Querétaro. El trabajo hace énfasis en las medianas empresas, en virtud de su destacada importancia en la generación de empleo y contribución al PIB estatal, en este sentido algunos estudios exhiben el papel protagónico de las medianas empresas en las nuevas reestructuraciones productivas de las economías emergentes como México (CEPAL, 2014).

Cabe destacar que, en las medianas empresas queretanas, converge la mayor actividad de la industria metalmecánica con una importante proyección de crecimiento futuro (INEGI, 2014; SEDESU, 2016). Las preguntas que guían este trabajo de investigación son: ¿Qué papel ejerce la gestión ambiental en la competitividad de las medianas empresas metalmecánicas en Querétaro, México? ¿Cómo se relaciona la innovación con la gestión ambiental y la estrategia de negocio en las medianas empresas metalmecánicas?

Guía teórica

1.1. Gestión ambiental

Los conflictos medioambientales hacen alusión al desequilibrio existente entre los ciclos biogeoquímicos y el ritmo de los ciclos de producción humana como parte de los sistemas productivos (Foladori, 2006); dichos conflictos se vuelven críticos en la medida en que ponen en riesgo los principios de justicia social y desarrollo durable (Martínez-Alier, 2004). Es a partir de esto que surgen diversas expresiones ideológicas encaminadas a buscar el equilibrio entre los sistemas económicos y el medio natural; la economía ecológica, el modelo dominante de desarrollo sustentable (MDDS) y la responsabilidad social empresarial (RSE) son sólo un ejemplo de los esfuerzos que aspiran a la conciliación de estos intereses.

A nivel institucional, la problemática medioambiental dio pauta, en 1972, para la creación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con la consigna de atribuir al estado la capacidad para gestionar favorablemente el ecosistema natural mediante el establecimiento de acciones normativas, administrativas y operativas para alcanzar el desarrollo con sustentabilidad ambiental (PNUMA, 1990:70). En México, el tema de la gestión ambiental cobró fuerza en 1987, con la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (LGEEPA); en ella, quedaron establecidas las reglas para la regulación y protección del medio ambiente, así como de los recursos naturales.

Esta base legal marcó la pauta en el campo teórico para el reconocimiento de la gestión ambiental como una estrategia mediática encaminada a la conciliación de intereses económicos y ecológicos. Para Brañes (1994), la gestión ambiental queda representada por las actividades (de carácter público o privado) encaminadas a procurar la ordenación del medio ambiente para contribuir, con ello, al establecimiento de un modelo de desarrollo sustentable.

En el aspecto organizacional, a Trist (citado en De la Rosa, 2007) se le atribuye una visión ecológica en las organizaciones con la que se pretende atender le ecología organizacional mediante la creación de nuevas unidades administrativas como parte de la estructura organizativa; todo esto dentro de un enfoque en sistemas en el que se reconoce la cultura interna y la tecnología como mecanismos de gestión administrativa. De manera formal, la visión sistémica de las organizaciones y su relación con el medio ambiente tuvo su origen en el movimiento de la contingencia en los años sesenta; con esta visión, se le otorgó un papel preponderante a la variable medio ambiente como un elemento determinante de la empresa (Emery y Trist, citados en Lozano, 2007:83).

1.2. Competitividad

La competitividad no es un tema nuevo; sin embargo, las condiciones y los factores que la determinan se han visto alterados con motivo de un entorno empresarial cada vez más acelerado y un proceso de mundialización de mercados, además de los vertiginosos cambios que están transformando las formas de hacer negocio y los ámbitos de competencia. De este modo, alcanzar niveles de competitividad sostenible se vuelve una condición y

un requisito para la empresa. Los enfoques actuales de competitividad reconocen como fuente de valor la interacción efectiva entre empresarios y gobierno, en un marco de políticas públicas y relaciones interinstitucionales. Para Solleiro y Castañón (2012), la competitividad en la empresa depende en gran medida de la calidad de las interacciones que la empresa establece con una serie de factores, dentro de los que destacan el entorno económico, la eficiencia en la cadena de valor, infraestructura física, capital humano, provisión de servicios financieros y, por supuesto, la asistencia tecnológica y legal.

Recientemente, la visión de la competitividad se ha ampliado para dar cabida al recurso natural (medio ambiente) como un elemento más de la gestión empresarial, con amplias posibilidades de negocio e impacto social. Una visión estratégica de la competitividad se encuentra en Rubio y Aragón (2006), quienes reconocen que la clave de la competitividad empresarial se ubica en los recursos críticos, traducidos como aquellos que permiten alcanzar ventajas competitivas sostenibles en el tiempo, a la vez que generan la capacidad de apropiarse de la renta generada.

Por su parte, la OCDE (citado en Hernández, 2011) establece tres elementos clave como parte de la competitividad estructural: la innovación como elemento constitutivo del desarrollo económico, la capacidad de innovación organizacional basada en capacidades propias de aprendizaje y el papel de las redes de colaboración orientadas a la innovación y apoyadas por diversas instituciones, para fomentar las capacidades de innovación. Si bien el modelo de competitividad estructural responde bien a empresas situadas en países desarrollados, también es cierto que resulta poco aplicable a empresas localizadas en países en desarrollo, en donde se ha observado la inexistencia o insuficiencia del entorno empresarial eficaz al que hace referencia la competitividad estructural (Hernández, 2001). Una visión holística de la competitividad se ubica en el concepto de "competitividad sistémica", la cual es un constructo que se caracteriza por reconocer que el desarrollo industrial exitoso se logra mediante la interacción efectiva de la función de producción en el nivel micro y la existencia de medidas específicas del gobierno y de organizaciones privadas de desarrollo, encaminadas a impulsar la competitividad de las empresas (nivel meso); todo ello aunado a la capacidad de vincular políticas meso y macro asociadas a patrones socioculturales y patrones básicos de la organización (nivel meta).

1.3. La gestión ambiental como estrategia de innovación: el marco de la competitividad empresarial

El tema de la innovación encuentra algunos de sus antecedentes en Shumpeter (1934), quien, desde la década de 1930, introdujo este concepto y lo asoció a experimentos de mercado y a la dinámica de cambios en sectores productivos. Según este autor, el desarrollo económico está movido por la innovación mediante un proceso dinámico en el cual nuevas tecnologías sustituyen a las antiguas. De acuerdo con el *Manual de Oslo* (2006), las empresas innovan para mejorar sus resultados; esto se logra aumentando la demanda o reduciendo costos. En su caso, cuando se trata de innovaciones de proceso, se consiguen ganancias como parte de la mejora en la productividad. Siguiendo esta misma tesitura, el *Manual de Oslo* (2006) reconoce también que las actividades de innovación no sólo se circunscriben a las mejoras científicas o tecnológicas, sino que también se incluyen en el campo de la innovación las funciones organizativas, financieras y comerciales.

Los impactos ambientales y la presión que el sistema económico ha ejercido sobre el medio natural se han visto impulsados particularmente por la generalización de las relaciones capitalistas y los modos de producción, los cuales, desde la revolución industrial hasta nuestros tiempos, han tenido, sin lugar a duda, modificaciones significativas en el medio ambiente a nivel de ritmo, amplitud, nivel, profundidad y grado de conciencia (Foladori, 2006). La década de 1970 marcó el inicio del desarrollo sustentable como una respuesta a los conflictos ambientales de la época y abrió la pauta para el surgimiento de diversas expresiones en el campo de la innovación empresarial, ecología industrial, ecoeficiencia y producción más limpia;

años más tarde, las normas ISO, en su versión para el medio ambiente[3], han sido un referente en este campo.

Estas corrientes tienen como esencia la innovación de procesos mediante la implantación de sistemas industriales basados en el funcionamiento del ecosistema, de tal forma que se alcance el máximo aprovechamiento no sólo de los recursos, sino también de los desechos generados con motivo del proceso.

Los trabajos de Porter y Van der Linde (1995) han demostrado que las empresas que han gestionado el medio ambiente como parte de una estrategia de innovación empresarial han reportado una mejor posición competitiva, no sólo mediante una reducción de costos y de perseguir una mayor eficiencia ambiental, sino como consecuencia de haber alcanzado un mayor grado de diferenciación en sus productos.

En este mismo sentido, Hart (1995) reconoce la gestión medioambiental como un aliado estratégico en la optimización de los procesos de producción, toda vez que la evidencia empírica en diversos sectores productivos ha demostrado un mayor valor económico en la empresa, derivado de un aprovechamiento eficiente de los recursos naturales, lo que revela que la sostenibilidad puede alcanzarse a la par que se consiguen resultados económicos.

Los estudios de gestión ambiental en la industria metalmecánica son un tema de frontera, Theis y Schreiber (2015) reconocen que la gestión medioambiental en esta industria se encuentra en sus etapas iniciales motivada principalmente por la legislación ambiental y la presión de la comunidad, dicho ejercicio reporta una mayor eficiencia y reducción de costos en los procesos de manufactura.

2. Marco de referencia

El control medioambiental consiste en planear, controlar y supervisar el desempeño de la empresa en términos de su afectación sobre el capital natural. Una herramienta de control se encuentra en la evaluación del impacto ambiental (EIA), cuyo propósito no sólo es identificar daños medioambientales, sino también establecer criterios de medición que sean comparables entre empresas, organizaciones sociales e instituciones profesionales. Una representación gráfica que resulta ilustrativa de la presión que las actividades económicas generan sobre el capital natural la encontramos en el modelo PFEIR (figura 1).

El modelo PFEIR (presión, estado, respuesta) busca expresar la interrelación entre las actividades humanas con motivo de la acción económica (presión), así como su impacto en el medio ambiente

Figura 1. Modelo PFEIR: presión, estado, respuesta.
Fuente: OECD, 2003.

(estado), de manera que de dicho contraste surjan las acciones encaminadas a mitigar las condiciones físicas del medio natural.

Algunos organismos internacionales no gubernamentales, como el Global Reporting Initiative (GRI), han desarrollado reportes de sustentabilidad encaminados a medir el desempeño de la actividad de la empresa en tres aspectos: ambiental, económico y social (tabla 1).

La iniciativa del GRI surge como una propuesta para mejorar la sustentabilidad de la empresa, toda vez que su actividad productiva provoca impactos al medio ambiente por niveles superiores a lo permitido por los estándares de control medioambiental. El GRI propone una guía estandarizada de criterios base que la empresa debe cumplir en el diseño y elaboración de sus memorias de sustentabilidad. Su estructura comprende

[3]La ISO 14000 surge a principios de la década de los noventa como un conjunto de normas internacionales de carácter voluntario orientadas hacia la gestión efectiva del medio ambiente en las organizaciones.

Medición del desempeño	Indicadores
Ambiental	Materiales Energía Agua Biodiversidad Emisiones Efluentes y residuos Cumplimiento ambiental Evaluación ambiental de proveedores
Económico	Presencia y participación en el mercado Impactos económicos
Social	Relaciones laborales Derechos humanos Seguridad y salud Empleo

Tabla 1. Indicadores de desempeño ambiental, económico y social
Fuente: Global Reporting Initiative (2011).

medición, divulgación y rendición de cuentas frente a los grupos de interés internos y externos.

Por último, el Gobierno Vasco y la Agencia Federal Medioambiental en Berlín publicaron, en 1999, a través del IHOBE, la Guía de Indicadores Medioambientales para la empresa. En este compendio, se proporciona un rubro de parámetros medioambientales encaminados a cuantificar en el tiempo la protección que la empresa hace en relación con los ecosistemas naturales; para ello, propone tres rubros en su medición: indicadores de comportamiento medioambiental, indicadores de gestión medioambiental e indicadores de situación medioambiental. Para este trabajo, se adopta exclusivamente el rubro 2, "Indicadores de gestión medioambiental", por considerarse un referente teórico para el objeto de estudio (figura 2).

Los indicadores de gestión medioambiental se caracterizan por mostrar los esfuerzos de la empresa en la reducción de los impactos ambientales. Los objetivos que estos indicadores persiguen son:

a) Medir hasta qué punto están integrados los aspectos medioambientales en las actividades de la empresa.
b) Describir cómo responde la empresa ante los impactos ambientales generados con su operación.
c) Evaluar el estado de implantación de la gestión ambiental en la empresa.
d) Controlar y supervisar las políticas medioambientales.
e) Posibilitar la incorporación de los costos medioambientales (servicios ambientales) a la gestión de negocio de la empresa.

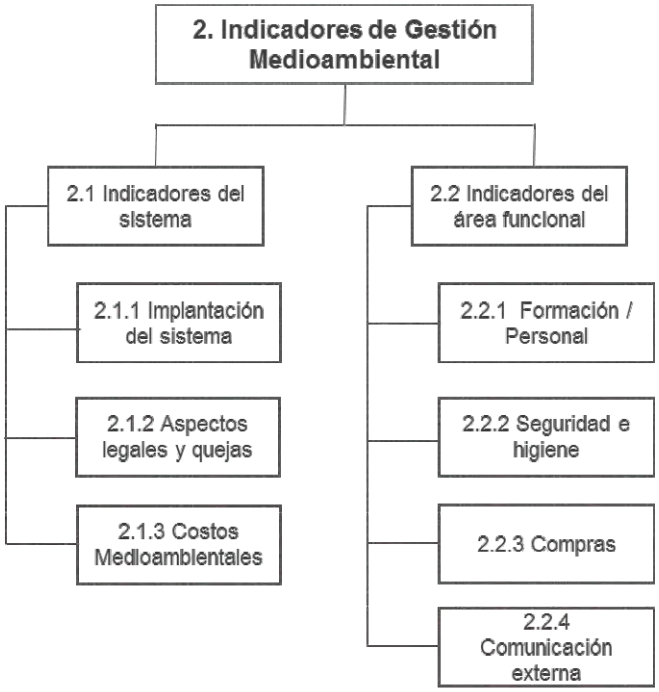


Figura 2. Indicadores de gestión medioambiental. Fuente: IHOBE BMU/UBA, Agencia Federal Medioambiental Berlín (1999:9).

3. Diseño y proceso metodológico

Los impactos medioambientales y la importancia socioeconómica que reviste la industria metalmecánica en Querétaro marcan la pauta para estudiar la gestión ambiental y la competitividad en el marco de la innovación empresarial. El reconocimiento de la variable medio ambiente en los modelos de negocio de las empresas surge como consecuencia de la articulación de las teorías organizacionales y el capital natural (Baltazar y Álvarez, 2016). Desde esta perspectiva, la gestión ambiental se reconoce como un elemento estratégico capaz de crear valor compartido a través de enfocar y expandir las conexiones entre los progresos económico y social (Porter y Kramer, 2011).

Para la investigación, se adopta una estrategia metodológica cuantitativa de alcance correlacional y transversal con dos variables de análisis: gestión ambiental y competitividad. Para este trabajo, la gestión ambiental se conceptualiza como el conjunto de esfuerzos voluntarios u obligatorios motivados por los esquemas normativos y legales que impulsan el ejercicio responsable de las

empresas en favor del capital natural para alcanzar un desarrollo sustentable. Esta categoría se operacionaliza con base en el rubro 2 de los indicadores propuestos por la Guía de Indicadores Medioambientales para la Empresa, a cargo del IHOBE. Lo anterior se justifica debido a que dichos indicadores constituyen un referente para medir los esfuerzos que la empresa realiza para mitigar los impactos medioambientales; tales esfuerzos aspiran a medir el nivel de implantación, integración, supervisión y capacidad de gestión ambiental.

Por su parte, la competitividad se define como la capacidad que tienen las empresas para alcanzar una posición de mercado por encima de la de sus competidores, a través de la creación de valor en el producto, ya sea por precios bajos o productos diferenciados. Su operacionalización está basada en el Mapa de Competitividad del Banco Interamericano de Desarrollo.

La hipótesis que da sustento al trabajo expresa que la gestión ambiental que realizan las empresas metalmecánicas en Querétaro, independientemente de la motivación que las impulsa, constituye mecanismos de innovación que repercuten en su nivel de competitividad. Por lo tanto, las hipótesis quedan representadas de la siguiente forma:

H0 = La gestión ambiental, como parte de la innovación empresarial, incrementa la rentabilidad de las medianas empresas metalmecánicas y las hace competitivas.

H1 = La gestión ambiental, como parte de la innovación empresarial, no incrementa la rentabilidad de las medianas empresas metalmecánicas y no las hace competitivas.

Para este trabajo, se estudia a las medianas empresas de la industria metalmecánica con la clasificación 331, 332 y 333[4] del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN, 2013), esto por considerar que agrupa al mayor número de empresas de la industria metalmecánica en Querétaro. El tamaño de la muestra se construyó a partir del Directorio Nacional de Unidades Económicas (DNUE) del INEGI (2015), el cual reconoce que en Querétaro operan 804 unidades económicas.

A partir de este universo, se determinó el tamaño de la muestra mediante la ecuación para poblaciones finitas e infinitas: $n' = [\pi (1-\pi) (Z_{\alpha/2})^2/e^2 DEFT]$. Por tratarse de una población pequeña, se aplicó el ajuste de finitud $n = [n'/(1+n'/N)]$ (Pérez-Tejada, 2008), a un nivel de confianza del 95%, el cálculo arrojó un tamaño de muestra de once empresas[5].

El trabajo se desarrolla en cuatro apartados. En el primero, se discute de manera teórica la gestión ambiental como factor de competitividad en el marco de la innovación empresarial; en el segundo, se da a conocer la estrategia metodológica de la investigación; en el tercero, se presentan y discuten resultados, y finalmente, en el último apartado, se exponen las conclusiones.

Para el levantamiento de información, se recurrió a un instrumento de medición tipo cuestionario compuesto de 31 ítems valorados bajo la escala Likert y conformado por cuatro categorías de análisis para la variable gestión ambiental: implantación del sistema (ítems 1, 3, 5, 6, 8, 10, 15), inversiones medioambientales (21, 22, 27, 28 y 29), formación de personal (4, 11, 14) y aprovisionamiento (2 y 9). Por su parte, la variable competitividad quedó integrada por seis categorías de análisis: planeación estratégica (ítems 6, 7, 10, 16, 17), aprovisionamiento (12 y 13), calidad (23, y 25), comercialización (24, 25, 30 y 31), recursos humanos (5, 14, 15 y 26) y finanzas (11, 21, 22, 28 y 29).

El horizonte temporal de la investigación fue de febrero a mayo 2017; esto con el objetivo de excluir periodos de cierre o recesos vacacionales, que hacen irregular la operación de la empresa. El instrumento se aplicó a dos tipos de informantes: el primer grupo quedó conformado por once trabajadores, uno por

[4]La categoría 331 corresponde a industrias metálicas básicas, la 332, a fabricación de productos metálicos, y la 333, a fabricación de maquinaria y equipo.

[5]Los valores utilizados para el cálculo fueron: $p = 0.5$; $Z_{a/2} = 1.96$; $e = 0.25$; $DEFT = 1$; $N = 39$.

empresa; este grupo se caracterizó por tratarse de personal directivo vinculado directamente con la toma de decisiones medioambientales en la empresa. Para el segundo grupo, se seleccionaron de manera aleatoria tres informantes por empresa —treinta y tres en total—; este grupo se caracterizó por tratarse de personal operativo de diferentes áreas.

A petición de las empresas que participaron en el estudio, se firmaron acuerdos de confidencialidad y se convino en no hacer público su nombre por así convenir a sus intereses.

En la tabla 2, se hace una caracterización de la muestra, en la que se expresan los principales elementos que la distinguen.

Tamaño de la muestra = 11 Empresas	Clasificación SCIAN	4 empresas (actividad 331), 2 empresas (actividad 332), 5 empresas (actividad 333)
	Promedio de vida de la empresa	Mayor a 10 años
	Promedio de trabajadores	182 trabajadores
	Certificaciones ambientales	9 de 11 empresas tienen al menos una certificación medioambiental (82%)
	Tipo de certificaciones ambientales por empresa	5 empresas (industria limpia), 2 (empresa socialmente responsable), 2 empresas (ISO 14000), 2 empresas (ninguno)

Tabla 2. Caracterización de la muestra
Fuente: Elaboración propia con base en información del trabajo de campo.

4. Presentación y discusión de resultados

De acuerdo con los resultados encontrados, se percibe una fuerte orientación a la gestión del medio ambiente. El 70% de las empresas coinciden en afirmar que su planeación empresarial reconoce como objetivo estratégico el cuidado del capital natural; asimismo, 70% reconoce haber innovado sus procesos productivos mediante la incorporación de ecotecnologías como mecanismos para la reducción de impactos ambientales. No obstante, solo un 48% declara medir su desempeño medioambiental a través de indicadores.

Los resultados permiten reconocer una fuerte implicación de la ecología en las organizaciones, lo que confirma los trabajos de Trist (citado en De la Rosa, 2007). En este sentido, 73% de las empresas estudiadas admite que la gestión ambiental se constituye como parte de su estrategia de negocio; además de ello, el trabajo de campo permitió evidenciar que la totalidad de las empresas estudiadas ha modificado su estructura organizativa para dar cabida a un puesto responsable del gestionamiento del medio ambiente.

En relación con las inversiones medioambientales, se destaca que hay una fuerte implicación financiera, derivada de la gestión ambiental. El 64% de las empresas reconoce que la innovación tecnológica aplicada a los procesos de fabricación contribuye a la reducción de costos y a la eficiencia de la operación, y 76% reporta una mejora en el nivel de satisfacción del cliente con motivo del ejercicio ambiental. Dichos resultados corroboran los hallazgos de Marcus y Fremth (2009), cuyos trabajos reconocen que, además de los beneficios que reporta la gestión medioambiental, a la par se obtiene un incremento en el valor social. Finalmente, un 73% reconoce que su ejercicio supone una mayor rentabilidad en los resultados de la empresa; sin embargo, el tema de aprovisionamiento se vislumbra como un aspecto endeble, ya que sólo 27% de las empresas considera la variable medioambiente como un parámetro en la selección de proveedores.

A pesar de la relevancia que cobra el aspecto ecológico en la empresa, sólo un 21% de las empresas analizadas reconoce la gestión ambiental como un recurso mercadológico y de imagen pública; en este mismo sentido, 30% afirma tener incorporado en su papelería institucional algún emblema de Empresa Socialmente Responsable, ISO 14000, Industria Limpia o algún otro equivalente.

Generalmente, se aduce que la gestión ambiental es un elemento de impulso mercadológico (Barkin, 2012); no obstante, debido a que los productos que genera esta industria son bienes intermedios y no van dirigidos a un mercado de consumo final, se asume que la gestión medioambiental no se encuentra motivada por cuestiones mercadológicas, sino que se da en términos de competitividad. Adicionalmente, en la tabla 3 se muestra un resumen de los principales resultados del análisis a nivel de estadística descriptiva para cada uno de los ítems.

		ITEM	MEDIA	DESV. EST.	VARIANZA	COEF. VAR.	MEDIANA	MODA	ASIMETRÍA	CURTOSIS
GESTIÓN AMBIENTAL	IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA	1	1.7273	0.5168	0.267	29.92	2	2	-0.32	-0.37
		3	1.879	0.82	0.672	43.64	2	2	0.6	-0.23
		4	2.909	1.042	1.085	35.81	3	3	-0.69	-0.59
		5	2.03	0.728	0.53	35.87	2	2	0.47	0.48
		6	1.848	0.906	0.82	48.99	2	1	0.85	0
		8	1.909	0.98	0.96	51.33	2	1	0.62	-0.86
		10	2.121	0.893	0.797	42.1	2	2	0.59	-0.12
		15	1.333	0.5401	0.2917	40.5	1	1	1.36	1.03
	INVERSIONES MEDIOAMBIENTALES	21	2	0.791	0.625	39.53	2	2	0	-1.37
		22	2.303	0.81	0.655	35.15	2	2	0.13	-0.34
		27	2.576	1.032	1.064	40.05	3	3	-0.31	-1.01
		28	2	0.901	0.812	45.07	2	2	0.55	-0.45
		29	2.091	0.98	0.96	46.87	1,3	1,3	0.66	0.57
	FORMACIÓN DE PERSONAL	4	2.909	1.042	1.085	35.81	3	3	-0.69	-0.59
		5	2.03	0.728	0.53	35.87	2	2	0.47	0.48
		6	1.848	0.906	0.82	48.99	2	1	0.85	0
		7	2	0.935	0.875	46.77	2	1	0.24	-1.33
		15	1.333	0.5401	0.2917	40.5	1	1	1.36	1.03
	APROVISIONAMIENTO	4	2.909	1.042	1.085	35.81	3	3	-0.69	-0.59
		11	2.273	0.977	0.955	42.99	2	2	0.9	0.82
		12	3.212	0.65	0.422	20.23	3	3	-0.23	-0.57
		13	3.727	0.674	0.455	18.09	4	4	0.39	-0.71
COMPETITIVIDAD	PLANEACIÓN ESTRATÉGICA	10	2.121	0.893	0.797	42.1	2	2	0.59	-0.12
		6	1.848	0.906	0.82	48.99	2	1	0.85	0
		7	2	0.935	0.875	46.77	2	1	0.24	-1.33
		16	2.03	1.075	1.155	52.94	2	1	0.74	0.01
		17	1.97	1.045	1.093	53.07	2	1	0.94	0.57
	APROVISIONAMIENTO	4	2.909	1.042	1.085	35.81	3	3	-0.69	-0.59
		12	3.212	0.65	0.422	20.23	3	3	-0.23	-0.57
		13	3.727	0.674	0.455	18.09	4	4	0.39	-0.71
	CALIDAD	23	1.97	0.847	0.718	43.01	2	1	0.06	-1.62
		25	2.061	0.659	0.434	31.96	2	2	-0.06	-0.53
	COMERCIALIZACIÓN	24	2.061	0.704	0.496	34.19	2	2	-0.09	-0.87
		25	2.061	0.659	0.434	31.96	2	2	-0.06	-0.53
		30	3.091	0.914	0.835	29.57	3	3	-0.45	0.23
		31	2.97	1.185	1.405	39.92	4	4	-0.54	-0.91
	RECURSOS HUMANOS	5	2.03	0.728	0.53	35.87	2	2	0.47	0.48
		14	2.455	0.754	0.568	30.71	2	2,3	-0.07	-0.19
		15	1.333	0.5401	0.2917	40.5	1	1	1.36	1.03
		26	1.879	0.65	0.422	34.59	2	2	0.12	-0.5
	FINANZAS	11	2.273	0.977	0.955	42.99	2	2	0.9	0.82
		21	2	0.791	0.625	39.53	2	2	0	-1.37
		22	2.303	0.81	0.655	35.15	2	2	0.13	-0.34
		28	2	0.901	0.812	45.07	2	2	0.55	-0.45
		29	2.091	0.98	0.96	46.87	1,3	1,3	0.66	0.57

Tabla 3. Estadística descriptiva de las variables gestión ambiental y competitividad
Fuente: Elaboración propia con base en información del trabajo de campo.

A partir del análisis descriptivo, se procedió con un análisis estadístico inferencial. Para ello, se recurrió a la prueba de mediana de *Mood* para la variable medio ambiente (tabla 4); con este análisis, se pretende identificar si existen diferencias que resulten significativas en los datos recolectados, toda vez que, al utilizar la escala Likert en el instrumento de medición, se asume, en una primera instancia, que los datos no provienen de una distribución normal. Por lo tanto, las hipótesis para este análisis quedan expresadas de la siguiente forma:

Ho = No existen diferencias estadísticamente significativas en las medianas de las empresas estudiadas.

Ha = Existen diferencias estadísticamente significativas en las medianas de las empresas estudiadas.

Los resultados de la prueba arrojan una mediana general de 2.0. Estos resultados aportan evidencia

	ITEM	N<	N>	MEDIANA	Q3 - Q1
IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA	1	32	1	2	1
	3	26	7	2	1
	5	26	7	2	2
	6	26	7	2	1
	8	23	10	2	2
	10	24	9	2	1.5
	15	32	1	1	1
INVERSIONES MEDIOAMBIENTALES	21	23	10	2	2
	22	20	13	2	1
	27	13	20	3	1
	28	24	9	2	2
	29	21	12	2	2
FORMACIÓN DE PERSONAL	4	9	24	3	2
	11	2	10	2	1
	14	17	16	2	1
APROVISIONAMIENTO	2	8	25	3	1.5
	9	25	8	2	1.5

Tabla 4. Prueba mediana *Mood*
Fuente: Elaboración propia con base en resultados de trabajo de campo.

suficiente para no rechazar Ho, lo que significa que las medianas empresas de la industria metalmecánica en el municipio de Querétaro realizan gestiones medioambientales encaminadas a mitigar los efectos negativos en el capital natural, con motivo de sus procesos productivos.

Por otro lado, siguiendo con el análisis estadístico inferencial, se procedió a determinar la relación entre la gestión ambiental y la competitividad para el rubro industrial en cuestión; para ello, se recurrió a la prueba de correlación de Pearson, mediante la cual se busca probar si la innovación como parte de la gestión ambiental impacta en la competitividad empresarial. En la tabla 5 se muestra el análisis de correlación y los resultados correspondientes para los ítems analizados.
Los resultados del análisis de correlación permiten reconocer una relación entre la gestión ambiental y

		COMPETITIVIDAD			
		Rentabilidad	Calidad del producto	Satisfacción del cliente	Reducción de costos
GESTIÓN AMBIENTAL	Inversiones medioambientales (Innovación)	0.557 P-Value 0.001	0.652 P-Value 0.000	0.316 P-Value 0.073	0.634 P-Value 0.000
	Implantación del sistema	0.464 P-Value 0.006	0.493 P-Value 0.004	0.502 P-Value 0.003	0.369 P-Value 0.035
	Innovación - uso de ecotecnologías	0.781 P-Value 0.000	0.614 P-Value 0.000	0.605 P-Value 0.000	0.757 P-Value 0.000
	Estrategia de negocio + GA	0.708 P-Value 0.000	0.712 P-Value 0.000	0.638 P-Value 0.000	0.627 P-Value 0.000

Tabla 5. Prueba de correlación gestión ambiental y competitividad
Fuente: Elaboración propia con base en resultados de trabajo de campo.

la competitividad. Se destaca una fuerte implicación entre la innovación de los procesos a través de la aplicación de inversiones medioambientales y su impacto en la calidad del producto y la reducción de costos. De igual manera, se observa que la innovación asociada al uso de ecotecnologías repercute favorablemente en rentabilidad, reducción de costos, calidad del producto y satisfacción del cliente. Finalmente, los resultados permiten observar que las empresas que han visto en la innovación una oportunidad para gestionar el medio ambiente y hacer de esta variable un aliado en su estrategia de negocio han obtenido beneficios en la calidad del producto, rentabilidad y competitividad de la empresa.

5. Conclusiones

1. Se encontró evidencia suficiente para afirmar que las medianas empresas metalmecánicas realizan trabajos de gestión medioambiental; se vislumbra lo anterior debido a que, en su totalidad, las empresas estudiadas cuentan con un puesto, como parte de su estructura organizativa, responsable de la ecología en la empresa. Asimismo, el 82% de las empresas cuenta al menos con una certificación medioambiental (tabla 2) y 70% reconoce tener integrada la variable medio ambiente como parte de su estrategia de negocio.

2. Los resultados encontrados muestran que la innovación asociada a los procesos productivos como mecanismo de gestión ambiental puede verse como una estrategia de negocio con capacidad de generar mejoras en la calidad del producto, reducción de costos, incremento de la satisfacción del cliente y mayor rentabilidad. El trabajo permitió evidenciar que 70% de las empresas que incorporaron ecotecnologías a sus procesos productivos como parte de un programa de innovación no sólo obtuvieron beneficios de carácter económico, sino también de impacto social y ambiental. El análisis de correlación permitió constatar una relación fuerte y positiva entre las variables gestión ambiental y competitividad (tabla 5), particularmente en lo que concierne al uso de ecotecnologías y su contraparte en rentabilidad, reducción de costos y calidad del producto.

3. Los resultados sugieren una relación significativa entre la competitividad de las medianas empresas metalmecánicas y las acciones que realizan en favor del capital natural; dicha relación se caracteriza por la motivación económica que empuja a las empresas a gestionar el medio ambiente, lo que hace suponer que la gestión ambiental es un impulsor de la competitividad.

4. El análisis estadístico de los datos permite reconocer que el índice de correlación más alto entre la gestión ambiental y la competitividad se ubica principalmente en lo que corresponde al uso de ecotecnologías y rentabilidad (R = 0.781), uso de ecotecnologías y reducción de costos (R= 0.757), estrategia de negocio + GA y rentabilidad (R = 0.708), y estrategia de negocio + GA y calidad del producto (R = 0.712). Estos resultados confirman el principio de valor compartido (Porter y Kramer, 2011), en el sentido de que es posible crear valor económico para la empresa a la vez que se crea también valor para la sociedad al afrontar sus necesidades y desafíos.

5. Referencias

-Baltazar L y Álvarez L (2016). Gestión ambiental y su implicación en la competitividad de las organizaciones, estudio en empresas metalmecánicas de Querétaro, México. *Revista Teuken Bidikay*, 09, pp. 165-187.

-Barkin D (2012). La significación de una economía ecológica radical. *Revista de la Red Iberoamericana de economía ecológica*, 19(01), pp. 1-14.

-Brañes R (1994). *Manual de Derecho Ambiental Mexicano*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

-CEPAL (2014). *Una promesa y un suspirar: políticas de innovación para pymes en América Latina*. Recuperado de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37352/1/S1420481_es.pdf

-De la Rosa ME (2007). La responsabilidad y la gestión medioambiental de la industria maquiladora. Un estudio de caso. *Contaduría y Administración*, 221, pp. 83-108.

-Díaz R (2011). *Desarrollo sustentable, una oportunidad para la vida*. Ciudad de México: McGraw Hill.

-Foladori G (2006). La insostenibilidad social del desarrollo sostenible. *Revista Portularia*, VI (2), pp. 7-20.

-Foro Consultivo Científico y Tecnológico FCCyT (2013). *Ranking Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, capacidades y oportunidades de los sistemas estatales del CTI*. Recuperado de http://foroconsultivo.org.mx/libros_editados/ranking_2013.pdf

-García SE (2008). Economía ecológica frente a ecología industrial. El caso de la industria de la curtiduría en México. *Nueva época*, 21(56), pp. 55-71.

-Global Reporting Initiative GRI (2011). *Guía para la elaboración de memorias de sostenibilidad*. Recuperado de https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/Spanish-G3.1-Complete.pdf

-Hart S (1995). A natural-resource-based view of the firm. *The Academy of Management Review*, 20(4), pp. 986-1014.

-Hernández R (2001). Elementos de competitividad sistémica de las pequeñas y medianas empresas (PYME) del istmo Centroamericano. *Estudios y perspectivas*, (5), pp. 5-39.

-IHOBE (1999). Guía de indicadores medioambientales para la empresa. Recuperado de http://archives.valoryempresa.com/archives3/GuiaIndicadores_medioambientales.pdf

-Instituto Mexicano de Competitividad (IMCO) (2016). *Índice de Competitividad Urbana 2016*. Recuperado de http://imco.org.mx/competitividad/indice-de-competitividad-urbana-2016/

-Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2014). *Censos económicos 2014, resultados definitivos*. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/ce2014/

-Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2015). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DNUE). Recuperado de http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/.

-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2013). *Evaluación del desempeño y sustentabilidad en ciudades intermedias, zona metropolitana Querétaro.* Recuperado de http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/2013_eval_desem_zmq.pdf

-Leal J (2005). Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. CEPAL, Serie Medio Ambiente y Desarrollo, (105), pp. 1-76.

-Leff E (2010). Globalización, ambiente y sustentabilidad. Saber ambiental. Ciudad de México: Siglo XXI.

-Lezama C. (Abril, 2006). La introducción de tecnologías ambientales: ¿Nuevos caminos hacia la reestructuración productiva? V Congreso Nacional AMET Trabajo y Reestructuración: los retos del nuevo siglo. Jalisco, México.

-Lozano O. (2007). Reflexiones sobre la unidireccionalidad de la variable ambiente en el movimiento de la contingencia y el estudio de las organizaciones. *Administración y Organizaciones*, 9(18), pp. 81-93.

-LUNA, Armando. (2013). Industria metalmecánica en Querétaro y el riesgo ambiental. *Desarrollo Gerencial*. Vol. 5(1), pp. 69-108.

-Manual de Oslo (2005). Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación, OCDE. Recuperado de http://www.itq.edu.mx/convocatorias/manualdeoslo.pdf

-Marcus A y Fremth A (2009). Green Management Matters Regardless. *Academy of Management Perspectives*, 23(3), pp. 17-26.
-Martínez-Alier J (2004). Los conflictos ecológicos-distributivos y los indicadores de sustentabilidad. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, *1*, pp. 21-30.
-OECD (2003). *Environmental Indicators Development, Measurement and Use*. Recuperado de https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf
-Pérez H (2008). Estadística para las ciencias sociales, del comportamiento y de la salud. México: CENGAGE Learning.
-Porter M y Kramer M (2006). Estrategia y Sociedad. *Harvard Businesw Review América Latina*, pp. 3-15.
-Porter M y Kramer M (2011). La creación de valor compartido. *Harvard Businesw Review América Latina*. Recuperado de http://www.filantropia.org.co/archivo/attachments/article/198/Shared%20Value%20in%20Spanish.pdf
-Porter M y Van der Linde C (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship, *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), pp. 97-118.
-PROFEPA (2015). *Programa Nacional de Auditoría Ambiental.* Recuperado de http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/26/1/mx/programa_nacional_de_auditoria_ambiental.html.
-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (1990). *El reto ambiental del desarrollo en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.* Recuperado de http://repositorio.cepal.org/handle/11362/1559.
-Programa Sectorial del Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT) (2013). *Programa Sectorial del Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018*. Recuperado de http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/promarnat_2013-2018.pdf

-Rubio y Aragón (2006). Competitividad y recursos estratégicos en la Pyme. *Revista de empresa*, 17, pp. 32-47.

-Saavedra M, Milla S y Tapia B (2013). Determinación de la competitividad de la PYME en el nivel micro: el caso del Distrito Federal, México. *Revista FIR, FAEDPYME International Review*. 2(4), pp. 38-52.

-Schumpeter JA (1934). The theory of economic development: an inquiry into profits, capital, credit, interest and de business cycle. Traducido del alemán por Redver Opie, New Brunswik (EUA) y Londres (Reino Unido): Transaction Publishers. *Journal of Comparative Research in Anthropology and Sociology*, 3(2), pp. 137-148.

-Secretaría de Desarrollo Sustentable (SEDESU) (2015). *Parques industriales del estado de Querétaro*. Recuperado de http://www.queretaro.gob.mx/sedesu/contenido.aspx?q=Jv2m+h8F36QTzG0qQQL9nqbvwKM+iYkP
-Solleiro y Castañón (2012). Competitividad, innovación y transferencia de tecnología en México. *Revista ICE Innovación y competitividad*, 869, pp. 149-161.
-THEIS, Vanessa & SCHREIBER, Dusan. (2015). Análise do processo de gestão ambiental em indústrias do segmento metal-mecânico do vale do rio dos sinos, rio grande do sul. *Gestão & Planejamento*. 16(3), pp. 534-549.
-Trist E (1992). A concept of organizacional ecology. Classics of organization theory.

Recibido: 31 de agosto de 2017
Aceptado: 20 de octubre de 2017

Diversidad y estado de conservación de las especies del género *Quercus* (Fagaceae) en Querétaro

Yazmin Hailen Ugalde de la Cruz[1]
Beatriz Maruri Aguilar*
María Magdalena Hernández Martínez*
Emiliano Sánchez Martínez*

Resumen

En el estado de Querétaro, los encinos cubren una extensión de aproximadamente 10% de la superficie; son elementos conspicuos en los paisajes montañosos de la porción queretana de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico, y encuentran su máxima diversidad en los bosques templados con asociaciones de encino y pino-encino. Se citan para la entidad 37 especies del género *Quercus*; siendo más numerosas las especies de la sección *Quercus* (23), en comparación con las de *Lobatae* (14). Pese a que el 30% de las especies presenta una distribución restringida a México, los instrumentos de conservación nacional omiten su inclusión en las listas de protección (NOM-059-SEMARNAT-2010). Por tanto, es necesario incrementar estudios estatales o regionales que permitan conocer el estado actual de sus poblaciones para definir estrategias de conservación para este género.

***Palabras clave*:** *Quercus*, distribución ecológica, diversidad, estatus de conservación

[1]Investigadora del Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío"
jhugalde@concyteq.edu.mx
*Investigadores del Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío" - Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

Fecha de recepción: 11 de julio de 2017
Fecha de aceptación: 15 de octubre de 2017

Abstract

Oaks are dominant elements in the mountainous landscape of the Sierra Madre Oriental and the Mexican Transvolcanic Axis portions in the State of Quéretaro. Its distribution is mostly concentrated in the temperate pine and pine-oak forests. Literature shows 37 species of *Quercus* (23 of section *Quercus* and 14 of section *Lobatae*) in the State. Mexico has 30% of the *Quercus* world diversity, however, the existing legal and official Mexican tools for plant's preservation do not include them (NOM-059-SEMARNAT-2010). There is therefore, a need for increased efforts at addressing questions of current population status and conservation strategies, in the region and in the country.

***Keywords*:** *Quercus,* ecological distribution, diversity, conservation status

México, centro de diversidad de *Quercus*

Los encinos, también llamados robles, pertenecen a la familia Fagaceae, de la que *Quercus* es el género de mayor riqueza específica con aproximadamente 500 especies a nivel mundial; mismas que predominan en zonas templadas y subtropicales del Hemisferio Norte. A la fecha, se reconocen dos centros de diversidad para el género: uno se localiza al sureste de Asia, con 125 especies; el segundo es en México, con 161 especies, de las cuales 109 son endémicas. Esto se debe a la compleja fisiografía y variedad de climas de la que es poseedor el territorio nacional (Valencia, 2004).

Las especies del género *Quercus* habitan en todas las entidades federativas, con excepción de Quintana Roo (Valencia, 2004), y forman densos rodales que pueden representar más del 16% de la cobertura vegetal del país (Torres-Miranda *et al.,* 2011). Sin embargo, es importante destacar que las especies del género *Quercus* no poseen una distribución uniforme, sino regional, y la amplitud del hábitat es más o menos continua a lo largo de varios estados de una misma región (Valencia, 2004). La porción central de México (San Luis Potosí, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Hidalgo, Estado de México, Morelia, Puebla, Tlaxcala y Ciudad de México) concentra la mayor diversidad de especies, frente a la región noreste (Coahuila, Nuevo León y

Tamaulipas) (Zavala-Chávez, 1998). El rango altitudinal que abarcan los encinos es amplio, pues va desde el nivel del mar hasta los 3,100 msnm (Rzedowski, 2006), aunque son más frecuentes entre los 1,000 y 3,000 msnm (Valencia, 2004).

Los encinos constituyen un elemento dominante en la vegetación de un importante macizo montañoso, la Sierra Madre Oriental, aunque también resultan ser comunes en la Sierra Madre Occidental, el Eje Neovolcánico Transversal, la Sierra Madre del Sur, la Sierra Madre de Oaxaca, la Sierra Madre de Chiapas y en Baja California (Rzedowski, 2006). El rango de distribución de los encinos es amplio: tienen una vasta presencia en los bosques templados, con asociación de especies del género *Pinus*, aunque también lo hacen con especies del género *Abies* y en el bosque mesófilo de montaña, donde conforman comunidades boscosas mixtas; aunque, en ocasiones, el género *Quercus* puede ser un elemento dominante formando encinares puros (Encina y Villarreal, 2002); no obstante, también habitan en diversos tipos de bosques tropicales (perennifolios, caducifolios y subcaducifolios) e incluso en matorrales y pastizales, donde suelen ser de hábito arbustivo, lo cual es explicable en función de su extensa amplitud ecológica (Rzedowski, 2006).

Generalidades de la familia Fagaceae

La familia Fagaceae comprende siete géneros, de los que sólo dos tienen presencia en el territorio nacional: *Fagus* y *Quercus*. Particularmente, *Fagus* cuenta con una sola especie (*Fagus grandifolia* subsp. *mexicana*) restringida al bosque mesófilo de montaña, mientras que *Quercus* tiene su mayor diversidad de especies en las zonas montañosas del país, donde presenta tres variantes agrupadas en las secciones *Quercus* (encinos blancos), con 81 especies; *Lobatae* (encinos rojos), con 76, y *Protobalanus* (encinos intermedios), 4 especies (Valencia, 2004).

Diversos autores consideran al género *Quercus* en una situación taxonómicamente complicada, debido a la gran variabilidad morfológica relacionada principalmente con factores ambientales, plasticidad fenotípica, edad de las plantas y la frecuente hibridación que existe entre las especies; que ha generado una descripción de diferentes especies de las que parecen existir realmente (Zavala-Chávez, 1998). Haciendo necesario el desarrollo de estudios *in situ*, y el desarrollo y aplicación de herramientas moleculares que permitan la adecuada delimitación taxonómica de las especies.

Dentro de las características morfológicas que distinguen a los encinos, están los tallos leñosos de altura variable, que dependen del tipo de hábito, arbóreo o arbustivo. Las hojas son de consistencia similar a la del cuero (coriáceas o duras) (figura 1a) y pueden permanecer siempre verdes en especies perennifolias o perderse en su totalidad en las caducifolias (Romero *et al.*, 2015). Una característica distintiva de este género es la

Figura 1. *Quercus rysophylla* Weath, especie que restringe su distribución al bosque mesófilo de montaña: a) hojas coriáceas; b) bellota (semilla). Fotografía de D. Creech.

formación de bellota (figura 1b), semilla que posee fisiología tipo recalcitrante, lo que significa que son sensibles a la desecación y pierden su viabilidad si el contenido de humedad disminuye considerablemente en su interior (González-Salvatierra *et al*., 2013).

Diversidad del género *Quercus* en Querétaro

Dentro de nuestro país, la extensión territorial del estado de Querétaro es reducida: abarca 11,699 km^2, que equivalen al 0.6% del territorio nacional. En esta porción, ubicada al centro-este (Rzedowski *et al*., 2012), y concurrentes provincias fisiográficas: la mitad noreste se encuentra en la Sierra Madre Oriental; el sur y sureste pertenecen a la provincia del Eje Neovolcánico y en la porción occidental del estado se inserta la Mesa Central, que abarca desde el macizo de El Zamorano hasta los bordes de la región del Semidesierto (Bayona, 2016).

La porción queretana de la Sierra Madre Oriental destaca por sus paisajes montañosos abruptos. En ella se produce un dominante efecto de sombra orográfica, debido a lo cual la parte suroccidental se caracteriza por ser la más seca del estado, denominada semidesierto, que se diferencia de la llamada Sierra Gorda por ser esta última de mayor humedad, ubicada al noreste (Bayona, 2016). Aquí se localiza, de forma casi aislada del resto del macizo y con características particulares, la Sierra de El Doctor. En la porción más sureña de la entidad, domina la provincia del Eje Neovolcánico, que alberga tres regiones naturales: los Llanos Centrales, la Sierra de Amealco, en el extremo sur de la entidad, la región del Bajío Queretano al suroeste. Finalmente, en la Mesa del Centro, se encuentra inmersa entre pequeñas llanuras, la Sierra de El Zamorano, cuyo extremo sureste es la Peña de Bernal (Bayona, 2016).

La diversidad del estado de Querétaro es vasta; ya que existen estimaciones sobre la flora en al menos 4,000 especies de plantas vasculares, de las que 1,625 se han inventariado en los fascículos *Flora del Bajío y de regiones adyacentes* (Rzedowski *et al*., 2012); en la que el fascículo 181 correspondiente a la familia Fagaceae, ya ha sido publicado (Romero-Rangel *et al*., 2014). No obstante, las publicaciones sobre el tema y los estudios sobre la flora del estado, particularmente los de la familia Fagaceae, hacen ver que el conocimiento todavía es insuficiente y es necesario la ejecución de trabajos estatales y/o regionales que incrementen el conocimiento sobre la diversidad de este grupo, comenzando por el listado florístico de las especies del género *Quercus*, hasta la implementación de prácticas hortícolas para su aprovechamiento sustentable.

De los 45 taxones reportados por Romero-Rangel y colaboradores (2014) en la región del Bajío y regiones adyacentes, que abarca Guanajuato, Querétaro y la parte septentrional de Michoacán, 37 corresponden al estado de Querétaro. De ellos, 23 pertenecen a la sección *Quercus* y 14 a la sección *Lobatae*; por tanto, predominan los encinos blancos, de afinidad neártica, mayormente presentes en el norte del país (Romero *et al*., 2015). Del total de especies registradas para esta entidad, *Q. rugosa*, *Q. obtusata*, *Q. castanea* y *Q. laurina* resultan ser especies de amplia distribución en el territorio nacional (con presencia en 21, 17, 17 y 16 estados, respectivamente). Además, se encuentran especies de distribución más bien restringida: 11 de las 37 especies citadas para la entidad presentan esta condición (ver apéndice 1) (Valencia y Gual, 2014).

La distribución de la mayoría de las especies del género *Quercus* en la entidad queretana se concentra en asociaciones de bosques de encino (27) y bosques mixtos pino-encino (17); un porcentaje considerable (30%) habita, aunque no de manera exclusiva, en los relictos de bosque mesófilo de montaña (figura 2). Cuatro especies (*Q. pinnativenulosa*, *Q. rysophylla*, *Q. xalapensis* y *Q. germana*) son reconocidas como exclusivas del bosque mesófilo de montaña (Valencia y Gual, 2014).

Por lo anterior, se infiere que la mayor diversidad de especies de encinos en el estado es más bien regional y que extienden su distribución a lo largo de varios municipios que pertenecen a las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico, junto con el aislado macizo montañoso Sierra de El Zamorano, en la Mesa Central. A pesar de que predominan en ambientes

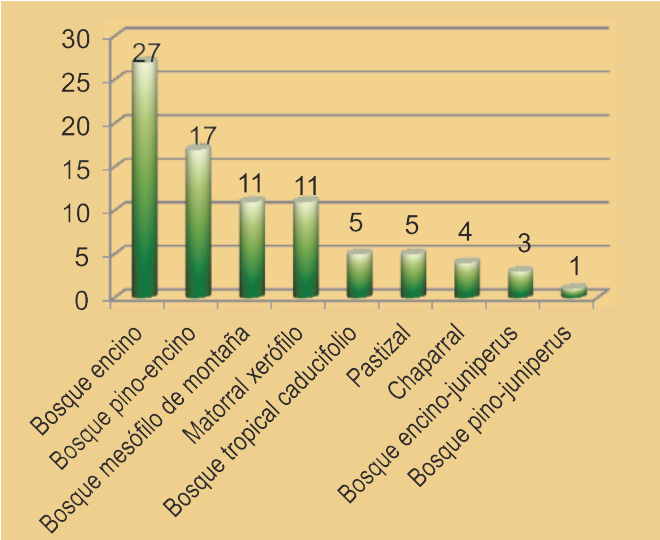


Figura 2. Distribución del género *Quercus* por tipo de vegetación en Querétaro. Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Número de especies del género *Quercus* por municipio del estado de Querétaro. Fuente: elaboración propia.

donde la humedad relativa es mayor, los encinos queretanos han encontrado hábitat en las proximidades de las zonas áridas del estado encontrándolos en matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, pastizal y chaparral (11, 5, 5 y 4 especies, respectivamente) (figura 2), donde suelen ser de porte más bien arbustivo.

Haciendo énfasis en la diversidad de encinos que alberga cada uno de los 18 municipios, tenemos que Pinal de Amoles y Landa de Matamoros son los que tienen el mayor número de especies registradas (18 cada uno). En contraste con los municipios de Corregidora y Pedro Escobedo que a la fecha carecen de registros de especies del género *Quercus* (figura 3). La especie *Q. eduardii* ha sido reportada en al menos 11 municipios de las tres provincias fisiográficas del estado; dicho rango de distribución se explica a razón de que la especie coincide con la presencia de comunidades boscosas de encino, pino-encino y encino-juniperus, cuyas condiciones bióticas y abióticas son similares. En contraparte, las especies *Q. candicans*, *Q. glaucescens*, *Q. laxa*, *Q. subspathulata*, *Q. salicifolia*, *Q. magnoliifolia* y *Q. sideroxyla* se registran en un solo municipio: Amealco, Arroyo Seco, Ezequiel Montes, Huimilpan, Landa de Matamoros, Pinal de Amoles y Tolimán, respectivamente.

Estatus de conservación de los encinos queretanos

Actualmente, los bosques enfrentan altos niveles de perturbación humana por el aumento de incendios, el libre pastoreo, la extracción de leña, madera y otros productos forestales, prácticas generalmente carentes de sustentabilidad (González y Bonfil, 2016). Los cuales son factores que las especies forestales enfrentan y que amenazan su permanencia. Por lo tanto es necesaria su protección.

Para conocer el estatus de protección al que están siendo sometidas las 37 especies del estado, se efectuó una revisión de instrumentos nacionales (NOM-059-SEMARNAT-2010 [SEMARNAT, 2010] y la *Lista roja de los árboles mexicanos del bosque de niebla* [González-Espinosa *et al*., 2011]) e internacionales como la *Lista roja de encinos* de la UICN (Oldfield y Eastwood, 2007). Es importante destacar que ninguna especie del género *Quercus* se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo que no se incluye en el apéndice de este manuscrito. Del total de especies del estado, 14 se enlistan en la *Lista roja de encinos* y, de ellas, sólo tres especies (*Q. xalapensis*, *Q. germana* y *Q. subspathulata*) están en la categoría de amenazadas (VU-vulnerable); Las 11 restantes se ubican en

riesgo menor (LC-baja preocupación y NT-cercanamente amenazada). Mientras tanto, la *Lista roja de los árboles mexicanos del bosque de niebla*, propuesta por González–Espinosa y colaboradores (2011), incluye sólo ocho especies, que se encuentran en las categorías de mayor amenaza (3 en categoría CR-en peligro crítico, 2 EN-en peligro y 3 VU-vulnerable) (ver apéndice 1).

De lo anterior, se concluye que un pequeño porcentaje de especies está siendo protegido por los instrumentos de conservación internacionales, aunque no de manera congruente, dadas las discrepancias existentes entre las categorías de protección que les son asignadas. Ejemplo de esto es la categorización de *Q. candicans*, *Q. rysophylla* y *Q. polymorpha*, que discrepa entre un instrumento y otro: en la *Lista roja de encinos* se categorizan como especies de bajo riesgo (LC, NT y NT, respectivamente) y en el instrumento de conservación nacional (Lista roja de González-Espinosa *et al*., 2011) se ubican en la categoría de mayor amenaza (VU, EN y EN, respectivamente). Dichas discrepancias son un obstáculo para el diseño y la aplicación apropiada de estrategias de conservación. Por ello, es necesario homologar las categorías a escalas geográficamente equiparables, así como revisar la información que define el estatus actual de cada especie dentro de los instrumentos que las protegen.

Bienes y servicios forestales derivados del género *Quercus*

Los encinos en México, siendo especies dominantes de los bosques templados, poseen una importancia singular. Destacan como especies clave en los ecosistemas boscosos al crear frecuentemente matrices bidimensionales dadas por su extensa y compleja red de interacciones con una amplia variedad de organismos, como hongos micorrizógenos, bacterias, insectos formadores de agallas (familia Cynipidae), vertebrados que encuentran refugio y alimento y ofrecen un hábitat idóneo para plantas epífitas como las orquídeas y bromelias, así como para líquenes y helechos (Torres-Miranda *et al*., 2011).

Los bosques donde predominan los encinos ofrecen una amplia gama de bienes y servicios, que la sociedad puede aprovechar para su bienestar y sano desarrollo. El abanico de servicios ambientales que proporcionan es vasto; destaca su contribución al mantenimiento de la biodiversidad y su alta capacidad para fijar carbono (gas responsable de contribuir al calentamiento global) favoreciendo así a la estabilidad climática (Marañón *et al*., 2014). Son excelentes biomejoradores edáficos, pues promueven el desarrollo y rejuvenecimiento del suelo, y controlan natural y eficientemente la erosión. La dinámica estacional de las hojas provenientes del género *Quercus*, participan en los ciclos básicos del agua, oxígeno y reciclaje de nutrientes, así como en la protección del suelo contra la erosión hídrica (Romero *et al.,* 2015), y la robustez de sus tallos y raíces ofrece resistencia a manera de cortina rompevientos, lo que atenúa desastres naturales. Es importante destacar que los bosques con un adecuado funcionamiento generan un valor agregado relacionado con aspectos recreativos, paisajísticos y educativos (Marañón *et al*., 2014).

Los servicios de abastecimiento que se obtienen de las especies maderables del género *Quercus* destacan por sus propiedades físicas, mecánicas y anatómicas, que pueden ser limitadas por el desconocimiento tecnológico y taxonómico (Machuca *et al*., 1999). A nivel nacional, la madera de encinos ocupa el segundo lugar en aprovechamiento (660,948 m^3), Durango (200,000 m^3), Chihuahua (69,455 m^3), Chiapas (50,994 m^3), Jalisco (51,197 m^3) y Sonora (43,797 m^3) tienen el mayor aprovechamiento forestal de este género; mientras que Querétaro ocupa el lugar 14, con una producción de 8,008 m^3 (SEMARNAT, 2016). Los usos principales de la producción forestal de encino son: combustibles (carbón y leña) (48%) y madera para aserrío (escuadría y durmientes) (41%); el 11% restante es utilizado como celulósicos, postes, pilotes y morillos (SEMARNAT, 2016). Específicamente para la entidad queretana, del total de madera de encino aprovechada, el mayor porcentaje se utiliza para fines de escuadría (62%), y un porcentaje menor se destina a combustibles (38%), este último destaca como un recurso importante para satisfacer necesidades energéticas (cocción y calefacción) y son las zonas rurales las que dependen de la quema de estos combustibles

vegetales. Sin embargo, su fuerte demanda provoca un incremento en la deforestación, lo que lleva a la pérdida de los servicios ambientales asociados a estos sistemas naturales.

El uso y aprovechamiento de los encinos no se limita a la parte maderable (Luna *et al*., 2003). También se ha documentado un uso diversificado de una amplia gama de recursos no maderables, obtenidos a partir de hojas, flores, frutos y agallas, con fines alimenticios, medicinales, de forraje, artesanales, taninos y colorantes, entre otros; estos usos resultan ser el reflejo del conocimiento tradicional y representan un valor económico, así como un medio de subsistencia (Luna *et al*., 2003). Por lo que el género *Quercus* es considerado como uno de los de mayor importancia económica.

Amenazas y retos de la conservación de encinos

La cobertura vegetal de los bosques se ha reducido drásticamente en los últimos 50 años, por la práctica de diversas actividades antropogénicas y el uso irracional del recurso, lo que ha llevado a la fragmentación y degradación del paisaje, trayendo consigo un incremento en los niveles de dióxido de carbono (Zavala-Chávez, 1998), que ha provocado, entre otras cosas, un aumento en la temperatura global; esto, a su vez, ha modificado, en ocasiones de forma irreversible, las condiciones ambientales. Finalmente, el resultado es una alteración en la distribución de aquellas especies de encinos que son más vulnerables a los cambios ambientales, lo que afecta la conectividad genética entre especies, la producción de semillas y su dispersión, pérdida de estructura, función y composición (González y Bonfil, 2016). De igual forma, se ha reportado una disminución en la diversidad de especies que albergan, dando pie a la predominancia de especies invasoras (Torres-Miranda *et al*., 2011), así como a la alteración de la regeneración natural de los bosques, a consecuencia de la susceptibilidad de las semillas a la desecación, lo que ha ocasionado pérdida de vialidad y disminución en las tasas de germinación (Zavala, 2004).

La conservación y restauración de los bosques es prioridad global urgente, por la gran cantidad de servicios ambientales que estos ecosistemas proveen. A fin de detener el deterioro de los bosques en México, el gobierno promueve su restauración, actividad que resulta ser desafiante para forestales, ecólogos y restauradores ecológicos. Sin embargo, y pese a su elevada importancia ecológica, *Quercus* es un género subestudiado que carece de información básica actualizada sobre su distribución y estatus en México, sus prácticas efectivas de restauración en ambientes modificados por el hombre y sus tasas de regeneración *in situ* (Douterlungne, 2017). Aunado a lo anterior, se reconoce la falta de programas integrales de manejo y aprovechamiento, *in situ* y *ex situ*, a fin de determinar cuáles especies pueden ser producidas exitosamente mediante el ensayo de protocolos de propagación que atiendan la condición recalcitrante de las semillas y simulaciones climáticas que nos permitan adelantarnos a los eventos climáticos desfavorables que pueden impedir o retrasar la regeneración de los bosques de forma natural, a fin de asegurar, en el mediano y largo plazo, su conservación y aprovechamiento sustentable (Zavala-Chávez, 1998).

Por otro lado, resulta imperativo el desarrollo de teoría operativa para el desarrollo óptimo de los bosques como entidades funcionales y productivas, con ciclos de corta bien definidos que no agoten los recursos forestales (Sánchez, *com. pers.*, 2017). La falta de proyectos y estudios sistemáticos que fortalezcan el conocimiento sobre la diversidad y ecología de los encinos mexicanos que deben ser protegidos, ha obstaculizado el ingreso de las especies que se encuentran amenazadas y excluidas de los instrumentos de conservación nacionales (NOM-059-SEMARNAT-2010), lo cual impide su efectiva conservación y aprovechamiento sustentable. A decir de los instrumentos de conservación internacionales, que protegen a un grupo vulnerable de especies de encinos en todo el mundo, su acción resulta desafiante ante las inconsistencias que presentan entre sí (Lista roja de González-Espinosa *et al*., 2011 y la *Lista roja de encinos* de la UICN).

Ante la imperante necesidad de proteger el reservorio genético de los encinos a nivel mundial, la Campaña Mundial de Arboles (Global Trees Campaign) inició, en 2015, la Iniciativa Global para

la Conservación de Encinos en conjunto con Botanic Garden Conservation International (BGCI) y Fauna and Flora International (FFI), con el objetivo principal de prevenir la extinción y asegurar poblaciones de encinos para el futuro. Dicha iniciativa apoya la conservación en tres puntos estratégicos de diversidad regional de encinos, donde México destaca como una región de alta prioridad. En nuestro país, esta iniciativa se apoya en los jardines botánicos nacionales, y se convierte en un punto estratégico para contribuir en el fortalecimiento de las colecciones museográficas mexicanas de especies del género *Quercus*, promover la creación de nuevas colecciones en lugares estratégicos del territorio nacional y dar cumplimiento a los objetivos de conservación *ex situ*, sin dejar de lado el desarrollo ni la estandarización de prácticas hortícolas para su propagación, aprovechamiento y preservación efectiva.

Para que la protección y conservación de los encinos mexicanos sea exitosa a nivel *in situ*, es urgente, a escala local y regional, la creación de áreas naturales protegidas que tomen como criterio fundamental la presencia de especies del género *Quercus*, y mancomunadamente unir fuerzas con viveros, bancos de germoplasma y jardines botánicos para fortalecer su conservación a nivel *ex situ*, y se fomente su empleo para detener la degradación de los bosques, proveedores de servicios indispensables para el mantenimiento de la biodiversidad. Esto debe concatenar con las estrategias ambientales a nivel social, económico y político, para que la participación multisectorial oriente la toma de decisiones y ejecute las acciones respecto del uso y manejo de los recursos forestales, y disminuya en la medida de lo posible, los límites nacionales o internacionales.

Referencias bibliográficas

Bayona A (2016). Capítulo 1. El Estado de Querétaro. En: Jones R y Serrano V (eds.). *Historia natural de Querétaro*. Universidad Autónoma de Querétaro: Ed. Universitaria, 458 pp.

Douterlungne D (2017). *Regenerando los bosques: árboles de encino en San Luis Potosí*. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. Centros Públicos de Investigación CONACYT. Disponible en: goo.gl/Q44TkH

Encina JA y Villarreal JA (2002). Distribución y aspectos ecológicos del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Coahuila, México. *Polibotánica*, 13:1-23.

González-Espinosa M, Meave J, Lorea F, Ibarra G y Newton A (eds.) (2011). *The red list of mexican cloud forest trees. Fauna and flora international.* Cambridge.

González C, Badano E, Flores J y Rodas J (2013). Germinación, infestación y viabilidad en bellotas de *Quercus polymorpha* (Schltdl. y Cham.) tras un año de almacenamiento. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(3):351-362.

González T y Bonfil C (2016). *Estado del Arte sobre degradación de bosques en una selección de países latinoamericanos*. Armenteras D, González T, Retana J y Espelta J (eds). México, 56 pp.

Luna A, Montalvo L y Rendón B (2003). Los usos no leñosos de los encinos en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 72:107-117.

Machuca R, Borja A, Zamudio F y Bárcenas G (1999). Propiedades tecnológicas de la madera de *Quercus insignis* de Huatusco, Estado de Veracruz, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 5(2):123-129.

Marañón T, Padilla CM, Pérez IM y Villar R (2014). Tendencias en la investigación sobre ecología y gestión de las especies de Quercus. *Ecosistemas*, 23(2):124-129.

Oldfield S y Eastwood A (2007). *The red list of oaks, fauna & flora international*, Cambridge, 32 pp.

Romero RS, Rojas E y Rubio L (2015). *Encinos de México (Quercus, Fagaceae). 100 especies*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, 288 pp.

Romero S, Rojas E y Rubio L (2014). *Fagaceae. Fascículo 181. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Pátzcuaro: Instituto de Ecología, 167 pp.

Rzedowski J (2006). *La vegetación de México*, 1ra ed. digital. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 505 pp.

Rzedowski J, Calderón G y Zamudio S (2012). La flora vascular endémica en el estado de Querétaro. I. Análisis numéricos preliminares y definición de áreas de concentración de las especies de distribución restringida. *Acta Botánica Mexicana*. 99: 91-104.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). *Anuario estadístico de la producción forestal 2015*. México: Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, 228 pp.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). NOM-059-SEMARNAT-2010: "Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para la inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo".

Torres A, Luna I y Oyama K (2011). Conservation biogeography of red oaks (*Quercus*, section Lobatae) in México and Central America. *American Journal of Botany*, 98(2):290-305.

Valencia S (2004). Diversidad del género Quercus en México. *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana*, 75:33-53.

Valencia S y Gual M (2014). La familia Fagaceae en el bosque mesófilo de montaña de México. *Botanical Sciences*, 92(2):193-204.

Zavala F (1998). Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica*, 8:47-64.

Zavala F (2004). Desecación de bellotas y su relación con la viabilidad y germinación en nuevas especies de encinos mexicanos. *Ciencia Ergo Sum*, 11(2):177-185. Universidad Autónoma del Estado de México.

Apéndice 1. Lista de especies del género *Quercus* del estado de Querétaro, distribución y estatus de conservación.

• Sección *Lobatae*	Distribución	Lista roja encinos	Lista roja González-Espinosa *et al.*
Q. affinis Scheidw.	□		VU
Q. candicans Née	◊	LC	VU
Q. castanea Née		LC	
Q. crassifolia Bonpl.	◊	LC	
Q. crassipes Bonpl.	□		
Q. x dysophylla Benth			
Q. eduardi Trel.			
Q. laurina Bonpl.			
Q. mexicana Bonpl.	□		
Q. pinnativenulosa C.H.Mull.	□•		CR
Q. rysophylla Weath.	□•	NT	EN
Q. salicifolia Née			
Q. sideroxyla Bonpl.			
Q. xalapensis Bonpl.	□•	VU	CR
• Sección *Quercus*			
Q. ariaefolia Trel.	□		
Q. deserticola Trel.			
Q. frutex Trel.			
Q. germana Schltdl. y Cham.	□•	VU	CR
Q. glabrescens Benth.	□		VU
Q. glaucescens Bonpl.			
Q. glaucoides M.Martens y Galeotti			
Q. greggii (A.DC.) Trel.			
Q. grisea Liebm.			
Q. laeta Liebm.	□	LC	
Q. laxa Liebm.			
Q. magnoliifolia Née			
Q. microphylla Née	◊		
Q. obtusata Bonpl.	□	LC	
Q. oleoides Schltdl. y Cham.		LC	
Q. peduncularis Née		LC	
Q.polymorpha Schltdl. y Cham.		NT	EN
Q. potosina Trel.			
Q. pringlei Seemen ex Loes.			
Q. repanda Bonpl.		NT	
Q. resinosa Liebm.			
Q. rugosa Née		LC	
Q. subspathulata Trel.		VU	

Simbología: cuadro (□): especie que restringe su distribución a México; punto (•): especie exclusiva o casi exclusiva del bosque mesófilo de montaña; rombo (◊): especie con amplia distribución en el Bajío Mexicano. Para ambas Listas: DD: datos insuficientes; LC: baja preocupación; NT: cercanamente amenazada; VU: vulnerable; EN: en peligro; CR: en peligro crítico; EW: extinta en vida silvestre: EX: extinta.

La remoción del colorante orgánico azul de metileno del agua

María Guadalupe Trejo Pérez[1]
Araceli Arteaga Jiménez[2]
Mónica Araceli Vidales Hurtado[3]

Resumen

El agua es un recurso estratégico para cualquier país, escaso y limitado en muchas regiones del mundo. Existen muchas industrias para las cuales es un insumo básico, donde es utilizado y posteriormente desechado con una alta carga de contaminantes, muchos de los cuales presentan resistencia a su degradación química y biológica; por ello, existe un gran interés por desarrollar materiales y métodos que puedan eliminarlos de una forma segura. En este trabajo, se muestra la capacidad que tiene el óxido de tungsteno (uno de los materiales fotocatalíticos más prometedores para la descontaminación de agua) en forma de polvo para remover azul de metileno del agua. El polvo fue obtenido por síntesis química, una porción se mantuvo sin ningún tratamiento y otras dos fueron tratadas a 300 y 500 ºC; la capacidad de remoción fue probada en una solución acuosa de azul de metileno a una concentración de 13 ppm con 50 mg del catalizador. La máxima remoción se obtuvo con el polvo sin tratamiento térmico: 78% durante los primeros 60 s y 99% después de 150 min. En otro experimento, se varió la concentración del catalizador con el objetivo de determinar la concentración óptima. Se encontró que, en el proceso de remoción, hay una influencia importante del fenómeno de adsorción por parte del catalizador y que existen rangos de concentración donde no hay diferencia significativa. La concentración seleccionada del catalizador, por lo tanto, dependerá del porcentaje de remoción que se quiera alcanzar a un tiempo determinado.

Palabras clave: adsorción, fotocatálisis, azul de metileno, óxido de tungsteno, catálisis heterogénea.

Introducción

Los pigmentos son sustancias químicas que son empleadas a gran escala por diversos tipos de empresas, como la industria textil, farmacéutica, del papel, la curtiduría, etcétera. Entre ellas, la industria textil es una de las que más contribuye a la descarga de sustancias contaminantes orgánicas en las fuentes naturales de agua o sistemas de tratamiento de aguas residuales. En todo el mundo, comercialmente se tienen disponibles 10 mil pigmentos textiles diferentes con una producción anual estimada de 700 mil toneladas métricas. Se estima que 10-25% de los colorantes textiles se pierden durante el proceso de tintura y 2-20% son directamente descargados como efluentes acuosos en diferentes componentes del medio ambiente (Zaharia, 2012).

La presencia de colorantes en el agua tiene consecuencias importantes, como la reducción de la penetración de luz solar en medios acuáticos y lo que esto conlleva (disminución de la fotosíntesis de plantas acuáticas y algas, eutrofización, etcétera) (Ehrampoush, 2010), aunado a una gran cadena de consecuencias negativas para las diversas especies biológicas involucradas, incluyendo al hombre. Adicionalmente, muchos de los colorantes liberados y sus productos de descomposición son tóxicos, carcinógenos o mutagénicos para las formas de vida (Zaharia, 2012; Bora, 2017).

En particular, el azul de metileno es uno de los colorantes más comúnmente utilizados para teñir algodón, madera y seda. Puede causar quemaduras en los ojos que pueden ser responsables de lesiones permanentes a los ojos de los seres humanos y animales. En caso de inhalación, puede dar lugar a breves períodos de dificultad para respirar mientras que la ingestión a través de la boca produce una sensación de ardor y puede causar náuseas, vómitos, sudoración profusa, confusión mental y metahemoglobinemia (Rafatullah, 2010).

[1]Estudiante del CICATA-Querétaro, lupita.trejo.4@gmail.com
[2]Estudiante del CICATA-Querétaro, arateaga@gmail.com
[3]Profesora Investigadora del CICATA-Querétaro, mvidales@ipn.mx
Instituto Politécnico Nacional (CICATA-Querétaro): Cerro Blanco núm. 141, col. Colinas del Cimatario, CP 76090; Querétaro, Qro., México

Sin un tratamiento adecuado, estos colorantes pueden permanecer en el medio ambiente por un largo periodo de tiempo (Zaharia, 2012). Para eliminarlos de las aguas residuales, se utilizan métodos físicos, químicos y biológicos o una mezcla de ellos, dependiendo de su naturaleza y características químicas. Entre los métodos físicos y químicos convencionales que son empleados, se encuentra la floculación-coagulación, adsorción superficial, oxidación química y filtración (Ehrampoush, 2010). Durante las últimas tres décadas, se han realizado esfuerzos de investigación para desarrollar tecnologías más eficaces que permitan eliminar totalmente los contaminantes orgánicos persistentes de las aguas residuales. En este contexto, los procesos avanzados de oxidación (PAO) han adquirido gran relevancia; se basan en la producción *in situ* de radicales hidroxilo (·OH) y superóxido ($\cdot O_2^-$) altamente reactivos, que reaccionan de forma no selectiva con la mayoría de los compuestos orgánicos y pueden degradar, incluso, compuestos altamente recalcitrantes, hasta agua y dióxido de carbono (Moreira, 2017; Bora, 2017).

Existen varios métodos para obtener dichos radicales; entre ellos se encuentra la fotocatálisis, basada en el uso de un material semiconductor que tiene la capacidad de ser activado en su superficie por radiación UV-vis. El mecanismo de activación fotocatalítica inicia con la absorción de un fotón con energía suficiente como para hacer que los electrones que se encuentran en un nivel de baja energía (banda de valencia) pasen a un nivel de mayor energía (banda de conducción); en este proceso, se genera un hueco (dejado por el electrón que fue promovido) al que se le asocia una carga positiva (h^+), y un electrón (e-) altamente reactivo. En condiciones adecuadas, estas especies reaccionan con especies químicas, oxidantes y reductoras, respectivamente, para formar radicales inestables, de acuerdo con el siguiente esquema de reacciones (Bora, 2017):

$$Fotocatalizador + hv \rightarrow h^+ + e \quad (1)$$
$$h^+ + e^- \rightarrow energía\ (\text{calor}) \quad (2)$$
$$H_2O + h^+ \rightarrow {}^{\cdot}OH\ (\text{radical hidroxilo}) + H^+ \quad (3)$$
$$O_2 + e^- \rightarrow {}^{\cdot}O_2^-\ (\text{radical superóxido}) \quad (4)$$
$${}^{\cdot}OH + contaminante \rightarrow productos\ intermedios \rightarrow H_2O + CO_2 \quad (5)$$
$${}^{\cdot}O_2^- + contaminante \rightarrow productos\ intermedios \rightarrow H_2O + CO_2 \quad (6)$$

Posteriormente, los radicales reaccionan con las moléculas orgánicas del medio acuoso; en este caso, pueden incluso descomponerlas hasta mineralizarlas, es decir, hasta obtener agua y dióxido de carbono.

Para la degradación de diferentes formas de contaminantes, el material más estudiado y utilizado es el óxido de titanio (TiO_2), debido a su bajo costo, baja o nula toxicidad, estabilidad química y alto rendimiento fotocatalítico bajo luz ultravioleta (Kiriakidis, 2014; Pelaez, 2012). El problema con este material es que la energía requerida para su activación es mayor que 3.1 eV (para la anatasa, la forma más activa del TiO_2); esta energía se encuentra dentro de la porción ultravioleta del espectro solar, lo que representa sólo una pequeña cantidad, alrededor del 3%, hecho que limita su uso a aplicaciones al aire libre usando radiación solar. Para mejorar la eficiencia fotocatalítica de este material, se ha trabajado en modificar su estructura electrónica, de tal forma que pueda ser activado con fotones de menor energía; esto se ha logrado a través de la introducción de otros elementos en la estructura del material (dopaje) (Kiriakidis, 2014; Delsouz Khaki, 2017).

Sin embargo, existen otros materiales que son activos en el rango ultravioleta-visible, como es el caso del óxido de tungsteno (WO_3) (Liu, 2017; Mohite, 2016). Debido a su alta estabilidad y baja toxicidad, es un material que ha adquirido gran interés en los últimos años: exhibe un gran potencial en aplicación de energía solar para el desdoblamiento de la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno y para la descomposición de contaminantes orgánicos peligrosos en agua contaminada y en la atmósfera (Shen, 2016).

En el presente trabajo, se evaluó la capacidad de un material fotocatalítico basado en óxido de tungsteno en forma de polvo, para remover o eliminar el colorante azul de metileno de una solución acuosa, con el propósito de utilizarlo posteriormente en pruebas de degradación de contaminantes presentes en agua residual.

Desarrollo experimental

La remoción de azul de metileno se llevó a cabo mediante el empleo de polvos basados en óxido de tungsteno, obtenidos a partir de una reacción química previamente reportada (Djaoued, 2008).

Como precursores, se utilizó una sal de hexacloruro de tungsteno (WCl_6) y etanol anhidro, ambos de la marca Sigma Aldrich. Para llevar a cabo la reacción, se mezclaron 10 ml de etanol con 1 g de hexacloruro de tungsteno y la mezcla se puso en agitación a una temperatura de 40 °C por 24 horas. Al cabo de este tiempo, la solución adquirió una coloración azul intenso, indicativo del cambio de estado de oxidación de iones tungsteno, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$WCl_6 + C_2H_5OH \quad WCl_{6-x}(OC_2H_5)_x + HCl \qquad (7)$$

A la solución se le agregó unas gotas de agua, con el objetivo de propiciar las reacciones de hidrólisis y condensación que llevarían a la formación de un gel de óxido de tungsteno.

Una vez obtenido el gel, el exceso de disolvente fue eliminado a temperatura ambiente y, posteriormente, molido en un mortero para obtener el polvo. Fue separado en tres partes para obtener una muestra sin tratamiento térmico, una tratada a 300 ºC y la última a 500 ºC, en atmósfera oxidante.

La actividad fotocatalítica de los materiales fue evaluada empleando soluciones acuosas de azul de metileno con una concentración de 13 ppm. A 50 ml de la solución se le agregaron 50 mg del catalizador y se mantuvo en agitación constante. La mezcla fue expuesta a radiación UV empleando cuatro lámparas de 9 W cada una, con un máximo de emisión a 370 nm, y protegida de cualquier otro tipo de luz.

Para evaluar el progreso en la remoción de azul de metileno, se realizaron mediciones de absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis Perkin Elmer Lambda 35 a una longitud de onda de 660 nm. Se tomaron alícuotas de 5 ml cada 30 min; antes de la medición, fueron centrifugadas por 10 min a una velocidad de 4300 rpm, en una centrífuga Eppendorf modelo 5702 R. Después de la medición, se devolvieron al recipiente para mantener el volumen constante durante todo el experimento. La concentración se determinó a partir de una curva patrón, donde se comprobó la linealidad entre la concentración y la absorbancia, de acuerdo con la ley de Beer-Lambert.

Para descartar la degradación de azul de metileno por acción de la luz (fotólisis), se realizó una prueba en las condiciones ya descritas, en la que se midió la absorbancia de la solución después de ser expuesta solamente a radiación UV.

Con el fin de optimizar el proceso, se realizó un diseño de experimento en el que se modificaron las cantidades de material fotocatalizador para encontrar la cantidad óptima de material que proporcionara un mayor porcentaje de degradación.

Se realizaron cuatro pruebas, cada una de ellas con una cantidad diferente del catalizador de óxido de tungsteno y sin tratamiento térmico (ya que, como se verá en los resultados, fue el material que permitió una mayor remoción): 50, 30, 10 y 5 mg, con tiempos de agitación de 0, 30, 60 90 y 120 min; es decir, se trabajó con el diseño de un factor, cuatro niveles y cinco bloques. Para el análisis de los datos, se realizó un análisis de varianzas. Para determinar la concentración óptima del catalizador (mínima cantidad posible que conduzca a una buena degradación), se utilizó el procedimiento de prueba de hipótesis e intervalos de confianza y la prueba de Tukey (Montgomery, 1991).

Resultados

En la Figura 1, se presenta la evolución de la remoción del azul de metileno en función del tiempo, en presencia del polvo catalizador tratado a diferentes temperaturas. La curva negra corresponde a la medición en ausencia de catalizador; como se puede apreciar, no hay variación en la concentración hasta los 120 min, donde comienza a verse un leve incremento, con un máximo de 4.2% a los 180 min. Dado este comportamiento, se descarta la degradación del colorante por fotólisis en los tiempos establecidos.

La mayor remoción se obtiene con los polvos sin tratamiento térmico (curva roja). Inmediatamente

(en los primeros segundos) después de que el catalizador entra en contacto con la solución, se da un blanqueamiento; debido a esto, se da el incremento abrupto de 0 a 78%. Después de 30 min, se elimina el 94% del colorante del seno de la solución y, a los 150 min, el 99%. Para los polvos tratados a 300 °C, se presenta una ligera decoloración en el primer minuto y está ausente cuando se utilizan los polvos tratados a 500 °C. A 150 min, el porcentaje de eliminación del colorante es de 95 y 75% para polvos tratados a 300 y 500 °C, respectivamente.

La remoción de colorante empleando el catalizador sin tratamiento térmico en ausencia y presencia de radiación es similar; este comportamiento se asocia con un proceso de adsorción del azul de metileno en la superficie del material fotocatalizador. El fenómeno se ve disminuido con el tratamiento térmico, probablemente debido a una densificación del material que reduce el tamaño de poro y, por lo tanto, del área superficial y sitios activos disponibles.

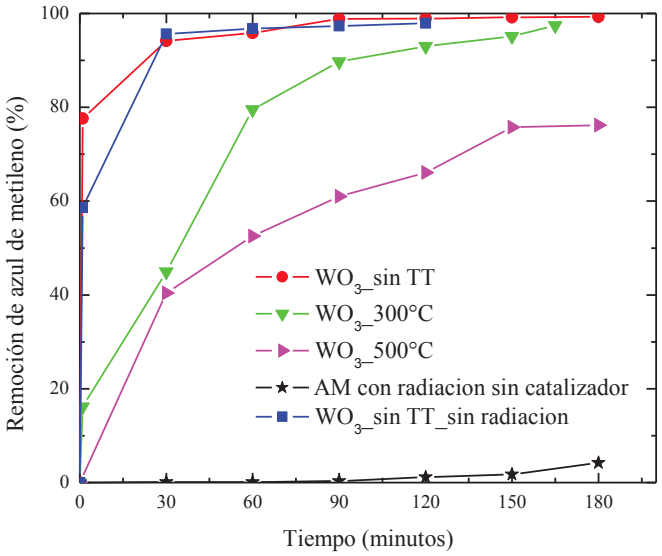


Figura 1. Porcentaje de remoción de azul de metileno de una solución acuosa, en función del tiempo, con polvos basados en óxido de tungsteno tratados a diferentes temperaturas.

En la Tabla 1, se presentan los datos obtenidos del diseño de experimentos. Los valores están expresados en porcentaje de degradación de azul de metileno con respecto de la concentración inicial.

mg de catalizador	Tiempo (minutos)				
	1	30	60	90	120
5	18.11	43.80	57.7	65.3	73.9
10	7.8	58.4	68.4	76	84.01
30	89.8	95.5	97.3	97.6	96.7
50	58.6	95.7	96.8	97.3	97.9

Tabla 1. Porcentaje de remoción de azul de metileno con el tiempo a diferentes concentraciones

En la Figura 2, se presentan las curvas del porcentaje de eliminación del azul de metileno empleando diferentes concentraciones de catalizador, sin tratamiento térmico. Las pruebas fueron realizadas en ausencia de luz. Como se puede apreciar, al incrementar la concentración del catalizador, aumenta el porcentaje de remoción de azul de metileno para las concentraciones bajas; sin embargo, para la concentración de 30 y 50 mg, la eliminación es muy similar y alcanza valores de 96.7 y 97.9% a 120 min, respectivamente.

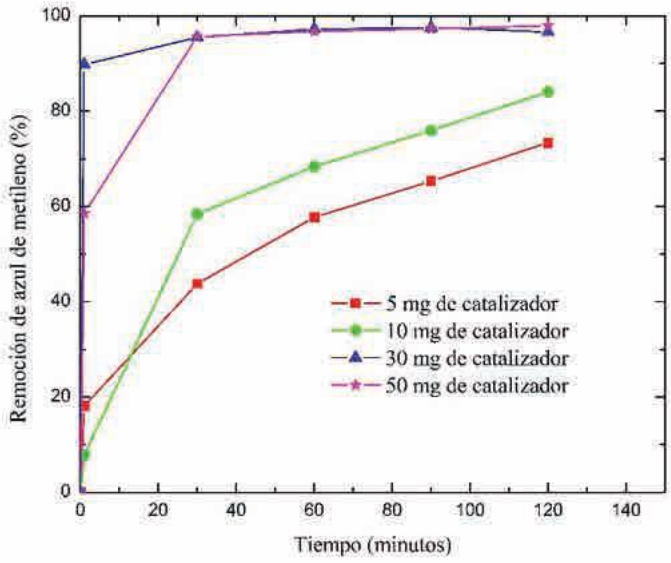


Figura 2. Porcentaje de remoción de azul de metileno de una solución acuosa, en función del tiempo, con diferentes concentraciones de óxido de tungsteno.

Discusión y conclusiones

El uso de materiales que tienen la capacidad de eliminar contaminantes de agua, ya sea por adsorción o degradación, es de gran interés, especialmente en los últimos años que se ha reconocido que el agua residual, incluso aquella que ha pasado por un tratamiento, puede contener altas cargas de moléculas orgánicas contaminantes, en especial de aquellas que entran en la clasificación de contaminantes emergentes (como los fármacos) y que pueden tener un importante efecto fisiológico en humanos y animales a bajas concentraciones.

Muchos de los trabajos realizados relacionados con la obtención de materiales fotocatalíticos se enfocan en obtener estructuras con grandes áreas superficiales que aseguren un contacto adecuado entre la superficie activa y la molécula a degradar. Los resultados presentados en este trabajo muestran que los polvos basados en óxido de tungsteno sin tratamiento térmico tienen una gran capacidad de adsorción (que sería el primer paso para que posteriormente se lleve a cabo la degradación de la molécula), ya que en los primeros segundos eliminan hasta 78% del colorante presente en el seno de la solución; sin embargo, no es posible afirmar que la molécula se haya degradado o simplemente permanezca retenida en la estructura del óxido de tungsteno. Para ello, es necesario ampliar la experimentación.

Para determinar las características estructurales del material, es necesario realizar mediciones con técnicas analíticas que permitan evaluar la porosidad y capacidad de adsorción, para relacionar la eficiencia con la estructura del material.

En términos generales, un incremento en la concentración del catalizador está asociado con un incremento en el porcentaje de descomposición o de retención de la molécula a degradar, ya que se aumenta el número de fotones absorbidos sobre la superficie por el incremento de los sitios activos, con el correspondiente aumento en la generación de pares electrón-hueco y el número de radicales hidroxilo (Delsouz Khaki, 2017). Por otra parte, al tener una mayor área disponible, la cantidad de contaminantes orgánicos adsorbidos en la superficie del fotocatalizador aumenta, lo que contribuye a una mayor eficiencia de degradación (Delsouz Khaki, 2017).

Sin embargo, se ha visto también que hay una concentración límite sobre la cual la degradación decrece. A mayor concentración, se produce un efecto de "apantallamiento" por las partículas en exceso, lo cual enmascara parte de la superficie fotosensible y obstaculiza la penetración de la luz o la refleja; esto impide que los fotones alcancen la superficie del catalizador en contacto con la sustancia que se desea eliminar (Amandeep, 2016; Hapeshi, 2010). El empleo de una concentración óptima de fotocatalizador minimiza el costo y la energía, al mismo tiempo que maximiza el rendimiento del material fotocatalítico (Amandeep, 2016). En los resultados de remoción del colorante se puede observar que con 30 mg es suficiente para retirar cerca de 90% del azul de metileno en el primer minuto.

Aun cuando se considera que lo que se está llevando a cabo aparentemente es un proceso de adsorción, es de suma importancia considerar la concentración y el tiempo de residencia del catalizador, ya que se ha visto que, dependiendo de ambos factores, se puede dar una desorción, lo cual incrementa la concentración de la molécula contaminante (Amandeep, 2016). El análisis estadístico mostró que la concentración de WO_3 tiene un efecto en la remoción de azul de metileno, como era de esperarse. La prueba de Tukey mostró que, para los tratamientos con 5 y 10 mg, no hay una diferencia significativa en la remoción del azul de metileno, como tampoco la hay para las concentraciones de 30 y 50 mg; sin embargo, sí la hay cuando se considera a 5 y 30, 10 y 30 o 5 y 50 mg. La concentración seleccionada del catalizador, por lo tanto, dependerá del porcentaje de remoción que se quiera alcanzar a un tiempo determinado.

La fotocatálisis heterogénea (aquella que involucra especies en diferentes estados físicos, sólido-líquido o sólido-gas) es considerada una tecnología "verde" que puede emplear energía solar y oxígeno del aire para lograr la descomposición de moléculas contaminantes del agua y la atmósfera de forma segura a un bajo costo.

Referencias bibliográficas

1. Amandeep, K. & Sushil, K.K. (2016). Bi2WO6 nanocuboids: an efficient visible light active photocatalyst for the degradation of levofloxacin drug in aqueous phase. Chemical Engineering Journal, 302, pp. 194-203.

2. Bora, L. V. & Mewada, R.K. (2017). Visible/solar light active photocatalysts for organic effluent treatment: fundamentals, mechanisms and parametric review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76, pp. 13931421.

3. Delsouz Khaki, M.R., Saleh Shafeeyan, M., Abdul Raman, A.A. & Ashri Wan Daud, W.M. (2017). Application of doped photocatalysts for organic pollutant degradation. A review. Journal of Environmental Management, 198, pp. 78-94.

4. Djaoued, Y., Priya, S., & Balaji, S. (2008). Low temperature synthesis of nanocrystalline WO3 films by sol-gel process. Journal of Non-Crystalline Solids, 354(2-9), pp. 673679.

5. Ehrampoush, M.H., Moussavi, G.H. R., Ghaneian M.T., Rahimi S. & Ahmadian M. (2010). Removal of methylene blue (MB) dye from textile synthetic wastewater using TiO2/UV-C photocatalytic process. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4(9), pp. 4279-4285.

6. Hapeshi, E., Achilleos A., Vasquez, M.I., Michael, C. & Xekoukoulotakis, N.P. (2010). Drugs degrading photocatalytically: kinetics and mechanisms of ofloxacin and atenolol removal on titania suspensions. water research, 44, pp. 17371746.

7. Kiriakidis, G. (2014). Metal oxide semiconductors as visible light photocatalysts. Journal of the Korean Physical Society, 65(3), pp. 297-302.

8. Liu, X., Ailing, J., Yushuai, J., Tonglin, X., Chenxin, D., Meihua, Z., Changfeng C. & Xiangshu, C. (2017). Synergy of adsorption and visible-light photocatalytic degradation of methylene blue by a bifunctional Z-scheme heterojunction of WO3/g-C3N4. Applied Surface Science, 405, pp. 359-371.

9. Mohite, S.V., Ganbavle, V.V., Patil, V.V. & Rajpure, K.Y. (2016). Photoelectrocatalytic degradation of benzoic acid using immobilized tungsten trioxide photocatalyst. Materials Chemistry and Physics, 183, pp. 439-446.

10. Montgomery, D.C. (1991). Diseño y análisis de experimentos. Ciudad de México: Iberoamérica.

11. Moreira, F.C., Boaventura, R.A.R., Brillas, E. & Vilar V.J.P. (2017). Electrochemical advanced oxidation processes: a review on their application to synthetic and real wastewaters. Applied Catalysis B: Environmental, 202, pp. 217-261.

12. Pelaez, M., Nolan, N.T., Suresh, C.P., Seery, M.K., Falaras, P., Kontos, A.G., Dunlop, P.S.M., Hamilton, J.W.J., Byrne, J.A., OShea, K., Entezari, M.H. & Dionysiou, D.D. (2012). A review on the visible light active titanium dioxide photocatalysts for environmental applications. Review. Applied Catalysis B: Environmental, 125, pp. 331-349.

13. Rafatullah, M., Sulaimana, O., Hashim, R. & Ahmad, A. (2010). Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. Journal of Hazardous Materials, 177, pp. 70-80.

14. Shen, Z., Zhao, Z., Qian, J. & Peng, Z. (2016). Synthesis of WO3−x nanomaterials with controlled morphology and composition for highly efficient photocatalysis. Journal of materials research, 31(8), pp. 1065-1076.

15. Zaharia, C. & Suteu, D. (2012). Organic Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention - Environmental and Analytical Update. INTECH.

Fecha de recepción: 29 de agosto de 2017
Fecha de aceptación: 9 de octubre de 2017

Bioacumulación de metales tóxicos en macroalgas expuestas a jales mineros

Contaminación por metales en el distrito minero Xichú, Guanajuato

Sara Analí Ruíz Segoviano*, Miriam Guadalupe Bojorge García* y Enrique Arturo Cantoral Uriza*[1]

Resumen

La minería es una de las actividades antrópicas con mayor impacto ambiental negativo. Los residuos mineros conocidos como "jales" pueden aportar metales tóxicos a los ambientes acuáticos, ya sea mediante escurrimientos o arrastre de material hacia ellos. Algunas macroalgas son capaces de acumular estos metales, pero la capacidad puede variar entre especies. En el distrito minero Xichú, ubicado al noreste del estado de Guanajuato, se han reportado altas concentraciones de arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), fierro (Fe), zinc (Zn) y cobre (Cu) en los jales y sedimentos dispuestos en las orillas del río Xichú. Se realizó un primer estudio exploratorio con el fin de determinar si existía bioacumulación de estos metales en las macroalgas presentes en el río y en un canal de riego expuestos a estos jales y sedimentos. Se colectaron cinco muestras de macroalgas en el río y una en el canal; además, se registraron datos fisicoquímicos del agua *in situ*. También se realizó una identificación genérica de las macroalgas colectadas. Las muestras fueron lavadas, secadas, molidas, tamizadas y sometidas a una digestión ácida con ácido nítrico (HNO_3) para su análisis de metales, el cual se realizó mediante la técnica de espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado. Se identificaron dos macroalgas dominantes: *Spirogyra* (alga verde) en el río y *Stigeoclonium* (alga verde) en el canal de riego. Se encontraron concentraciones muy altas de As, Cd, Cr, Pb y Zn en las macroalgas de ambos sitios, destacando el As y el Zn con más de 1000 mg/kg. Debido a que hay una macroalga dominante en cada sitio y están acumulando metales tóxicos en gran cantidad, es evidente que estos ambientes están siendo afectados por los jales depositados en la zona. Este primer estudio exploratorio despierta el interés, abre la puerta para futuras investigaciones en el sitio y llama la atención, ya que ambos cuerpos de agua son utilizados para irrigación agrícola.

Palabras clave: metales, toxicidad, algas, río, jales, Guanajuato

Abstract

Mining is one of the anthropogenic activities with the greatest negative environmental impact. Mining waste known as 'jales' can contribute toxic metals to aquatic environments, either by run-off or by hauling material into them. Some macroalgae are able to accumulate these metals, but the capacity may vary between species. In the Xichú mining district, located northeast of the state of Guanajuato, high concentrations of arsenic (As), cadmium (Cd), lead (Pb), iron (Fe), zinc (Zn) and copper (Cu) have been reported in the jales and sediments arranged on the banks of the Xichú river. A first exploratory study was carried out to determine if there was bioaccumulation of these metals in the macroalgae present in the river and in an irrigation canal exposed to these rivers and sediments. Five samples of macroalgae were collected in the river and one in the canal; in addition, physicochemical data on *in situ* water were recorded. Also generic identification of macroalgae collected was carried out. The samples were washed, dried, milled, sieved and subjected to acid digestion with nitric acid (HNO_3) for their metal analysis, which was performed using the optical emission spectrometry technique with coupled plasma. Two dominant genera were identified: *Spyrogira* (green algae) in the river and *Stigeoclonium* (green algae) in the irrigation channel. Very high concentrations of As, Cd, Cr, Pb

*Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, *campus* Juriquilla, Querétaro. Boulevard Juriquilla 3001, C. P. 76230 Querétaro, México.
[1]cantoral@ciencias.unam.mx

and Zn were found in the macroalgae of both sites, with As and Zn being over 1000 mg/kg. Because there is a dominant macroalga in each site and are accumulating toxic metals in large quantities, it is evident that these environments are being affected by the mining waste deposited in the area. This first exploratory study arouses interest and opens the door for future research on the site, and draws attention, as both bodies of water are used for agricultural irrigation.

Key words: metals, toxicity, algae, river, mining waste, Guanajuato

Introducción

Los ríos son ecosistemas acuáticos que han sido fundamentales para el desarrollo de las civilizaciones, pues representan una fuente de agua para satisfacer diversas actividades. En ellos se transportan sedimentos, nutrientes, materia orgánica y metales, cuya presencia está influenciada por procesos naturales y actividades antrópicas (Goldsmith *et al*., 2015). Particularmente, cuando los metales se incorporan a un río debido a las actividades humanas, provocan efectos adversos sobre la integridad del ecosistema, lo cual se considera contaminación (Novotny, 1995). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) designa 13 elementos —y los compuestos que pueden formar— como *metales tóxicos* para los seres vivos: antimonio (Sb), arsénico (As), berilio (Be), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni), plata (Ag), talio (TI) y zinc (Zn) y otros contaminantes como el selenio (Se) (USEPA, 2012).

La minería es una actividad económicamente importante en México y el mundo que desafortunadamente puede impactar negativamente los ecosistemas acuáticos y terrestres, debido a los residuos que se generan, conocidos como "jales", que son depósitos en pilas que permanecen expuestos a las condiciones climáticas. En cada época de lluvias se forman escurrimientos que arrastran los metales tóxicos por los suelos y hacia los cuerpos de agua cercanos, lo que genera una amplia dispersión en relación con el punto de origen (Concas *et al.*, 2006; Chen *et al.* 2016; El Azhari *et al*., 2016); debido a la naturaleza no degradable ni asimilable de estos elementos, algunos organismos acuáticos como peces, macroinvertebrados, musgos, plantas acuáticas y algas pueden almacenarlos en sus tejidos (bioacumulación) con repercusiones negativas en su fisiología, lo cual provoca alteraciones en la población e incorpora estos metales tóxicos a la cadena trófica de los ecosistemas (Ibemenuga, 2013), de manera que pueden llegar al hombre.

En México, la minería se ha practicado desde tiempos prehispánicos y se potenció a partir de la época colonial hasta la actualidad (Cortinas de Nava y Ordaz, 1994). En el estado de Guanajuato, se encuentra el distrito minero Xichú, de donde se ha extraído plomo, plata, zinc y cobre desde al menos hace 400 años (SGM y SE, 2014). Salas-Megchún (2014) ha evaluado, en otros estudios, las concentraciones de As, Cd, Pb, Fe, Zn y Cu en los jales con los siguientes valores (20876.46, 92.32, 5894.20, 254323.93, 7550.51, y 1380.89 mg/kg respectivamente), en los sedimentos de las orillas del río Xichú y en los suelos de la zona (1161.97, 2.55, 686.70, 42313.20, 525.23 y 119.24 mg/kg respectivamente). Las concentraciones de todos los metales fueron más altas en los jales; se observó, además, que los sitios de colecta de sedimentos y suelos más cercanos a ellos presentaron también altas concentraciones de estos metales, a diferencia de los sitios más alejados.

Con estos antecedentes, nuestro interés fue determinar la bioacumulación de metales tóxicos en las macroalgas de dos ambientes acuáticos expuestos a la zona de influencia de los jales, durante la época de estiaje en el distrito minero Xichú, Guanajuato.

Materiales y métodos

Muestreo

La recolecta de macroalgas se realizó durante la época de estiaje (abril, 2016) en una localidad del río Xichú (Figura 1). Se registraron datos fisicoquímicos *in situ*: temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (SDT). Posteriormente, utilizando el valor de CE, se estimó la concentración de $CaCO_3$ para

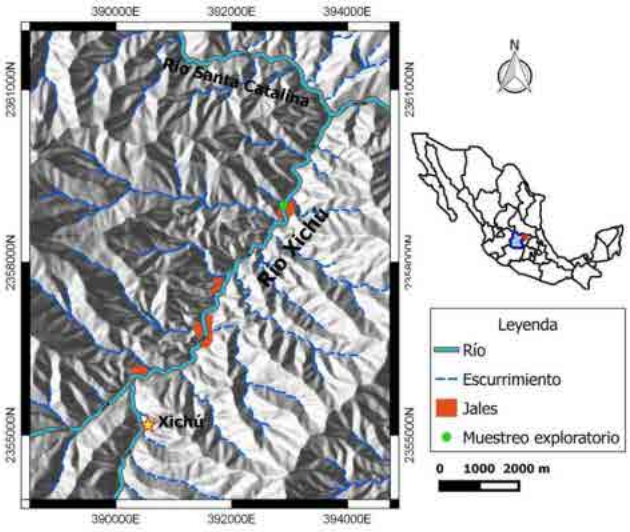


Figura 1. Zona de estudio y sitio de muestreo exploratorio. Ubicación de los jales río arriba, tomada de Salas-Megchún (2014). Elaboración propia.

evaluar la dureza del agua, utilizando la relación entre la conductividad eléctrica y la dureza del agua sugerida por Becher y Root (1981; en Heston, 2015).

Se procesaron 5 muestras de algas, 4 fueron colectadas en un segmento de 19 m en el río y 1 muestra colectada en el canal ubicado sobre los jales.

Preparación y análisis de las muestras

Con ayuda de la siguiente bibliografía especializada: *Guía de la Cantera Oriente, caracterización ambiental e inventario biológico* (Lot, 2007) y el libro *The Freshwater Algal Flora of the British Isles* (John *et al*., 2011), en el laboratorio de Ecología Acuática y Algas (UMDI-FC, UNAM) se realizó la identificación taxonómica de las algas recolectadas mediante la observación al microscopio y la toma de microfotografías. Para el análisis de metales tóxicos, se lavaron las muestras de algas con agua destilada tratando de retirar la mayor cantidad de sedimento. Posteriormente, se colocaron en cajas Petri limpias y se secaron a 80° C hasta obtener un peso constante (Hamidian *et al.*, 2016) en una estufa Memmert 100-800. A continuación, se limpió la biomasa seca para dejar sólo las macroalgas utilizando un microscopio estereoscópico y pinzas de plástico, para quitar objetos como restos de insectos y ramas. Finalmente, se molieron las muestras en un mortero de ágata y las muestras molidas se almacenaron dentro de un desecador con sílica gel hasta su preparación para el análisis de metales tóxicos.

Para el análisis de metales totales, se hizo una digestión ácida de las muestras de algas utilizando la aplicación Plant Tissue 1 del microondas CEM MarsXpress (CEM, 2004). Para determinar los metales tóxicos, se empleó la técnica de espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado por inducción (ICP-OES), utilizando el espectrómetro Thermo iCAP 6500 Duo View, que se calibró de acuerdo con el método 200.7 de la USEPA. Esta técnica se llevó a cabo en el laboratorio de Geoquímica Ambiental del Centro de Geociencias de la UNAM.

Resultados

La ubicación latitudinal del río (< 20°), la elevación del terreno sobre el nivel del mar y los datos de temperatura del agua (tablas 1 y 2) muestran que las algas de este sitio crecen en un río tropical de montaña con agua templada (William y Lewis, 2008). El agua puede considerarse dura debido a su contenido de $CaCO_3$ (tabla 1) (EPA, 2001). El pH de ambos sitios es muy cercano a la neutralidad y se encuentra dentro del rango para la protección de la vida acuática recomendado por la USEPA.

	T (°C)	SDT (ppm)	pH	CE (µS/cm)	Dureza (ppm de $CaCO_3$)	Altura (msnm)
Máximo	23	1000	7.6	1980	950.4	1081
Mínimo	19	370	6.3	740	355.2	1077
Promedio	21.8	744	6.62	1470	705.6	1079
SD*	1.64	255.79	0.55	505.77	242.7	2.28

*Desviación estándar (SD)

Tabla 1. Datos fisicoquímicos del agua en el río Xichú

T (°C)	SDT (ppm)	pH	CE(µS/cm)	Dureza (ppm de $CaCO_3$)	Altura (msnm)
18	370	7.5	750	360	1103

Tabla 2. Datos fisicoquímicos del agua en el canal de riego

En las cinco muestras de algas colectadas en el río, dominó la macroalga *Spirogyra* (99%) y, en menor proporción (1%), algas diatomeas (Bacillariophyceae) y cianobacterias (tabla 3). En la muestra del canal de riego, dominó la macroalga *Stigeoclonium* (99%) y, en menor proporción, las diatomeas (1%) (tabla 4). Los resultados del análisis de metales tóxicos se muestran en la tabla 5.

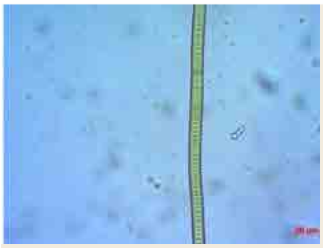
Algas del río Xichú

Taxonomía

División: Chlorophyta
Clase: Zignematophyceae
Orden: Zygnematales
Familia: Zygnemataceae
Género: *Spirogyra*

Taxonomía

División: Cyanobacteria
Clase: Cyanophyceae
Orden: Nostocales
Familia: Nostocaceae
Género: *Anabaena*



Taxonomía

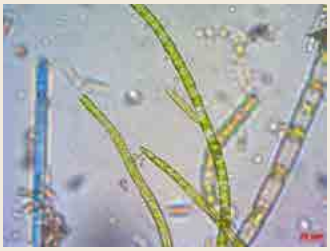
División: Cyanobacteria
Clase: Cyanophyceae
Orden: Oscillatoriales

Taxonomía

Diatomeas
División: Bacillariophyta
Clase: Bacillariophyceae

Tabla 3. Microfotografías y clasificación de las algas en las muestras del río.

Algas del canal de riego



Clasificación

División: Chlorophyta
Clase: Chlorophyceae
Orden: Chaetophorales
Familia: Chaetophoraceae
Género: *Stigeoclonium*

Diatomeas
División: Bacillariophyta
Clase: Bacillariophyceae

Tabla 4. Microfotografías y clasificación de las algas encontradas en el canal de riego

Discusión y conclusiones

A pesar de que el segmento estudiado del río Xichú no está cortando los jales, ya sea por derrumbes o acción del viento y la lluvia sobre ellos, los jales pueden estar aportando metales tóxicos al río en un sistema de escurrimiento agua de lluvia-jal-suelo-río, lo que se refleja en las concentraciones de metales tóxicos acumulados en las algas.

Salas-Megchún (2014) reporta que, en los jales, la mayoría del plomo (Pb), hierro (Fe) y arsénico (As) están en forma de sulfuros, mientras que la mayoría de Cd, Zn y Cu están en la fracción soluble asociada a sulfatos. Con base en esta caracterización, la presencia de Cd, Zn y Cu en el canal y el río puede verse favorecida con respecto de la de los otros metales, ya que los sulfatos de Cd, Zn y Cu son más solubles que los sulfuros de Pb, Fe y As (Vega Ávila *et al.*, 2003).

La macroalga *Spirogyra* han sido reportada como capaz de crecer en ambientes contaminados con metales tóxicos (Jaiswar *et al.*, 2015). Las concentraciones de metales obtenidas en las muestras de macroalgas de ambos ambientes (río y canal) son bastante altas; resaltan Zn, As, Pb y Cd como metales dominantes (3650, 2210, 910 y 40 mg/kg respectivamente, tabla 5), la NOM-147 (DOF, 2007) de la Semarnat/SSA considera las concentraciones de referencia en suelo según el uso, agrícola, residencial y comercial: As 22 mg/kg, Cd 37 mg/kg y Pb 400 mg/kg, mientras que para actividades industriales: As 260 mg/kg, Cd 450

Muestras	As	Be	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	Zn
	(en mg/kg)										
Alga 1 Río	6	<l.c.	35	11	231	14	910	<l.c.	<l.c.	<l.c.	3650
Alga 2 Río	2210	<l.c.	40	10	212	14	748	<l.c.	<l.c.	<l.c.	2914
Alga canal	1054	<l.c.	29	11	373	12	523	<l.c.	<l.c.	<l.c.	1644
l.d.*	0.0054	0.0001	0.0003	0.0011	0.0009	0.0023	0.0028	0.0049	0.0054	0.0028	0.0003
l.c.**	0.0180	0.0003	0.0010	0.0037	0.0030	0.0077	0.0093	0.0163	0.0180	0.0093	0.0010

*l.d. Límite de detección **l.c. Límite de cuantificación

Tabla 5. Concentraciones de metales tóxicos en las macroalgas analizadas

mg/kg y Pb 800 mg/kg. Con lo anterior, podemos decir que los valores obtenidos en el presente estudio están por arriba de la NOM en el caso del As en ambas categorías de uso, 100 veces más de lo permitido para uso agrícola, residencial y comercial y alrededor de 10 veces más para uso industrial; para el Pb, se encuentra casi al doble de lo permitido para uso agrícola, residencial y comercial y ligeramente arriba de lo permitido para uso industrial, para el Cd, se encuentra ligeramente arriba de lo permitido para uso agrícola, industrial y comercial. A pesar de que los sedimentos son el mayor sumidero de contaminantes en un ambiente acuático (Gupta *et al*., 2009), se ha observado que el alga *Spirogyra* es capaz de agregar estos metales, además del magnesio (Mg), vanadio (V), Fe y Cr, que están atrapados en los sedimentos, y acumularlos en mayor cantidad (Hamidian *et al.,* 2016). En el canal, la macroalga dominante fue *Stigeoclonium*, la cual es abundante en ríos con alto contenido de materia orgánica y de metales tóxicos (Harding y Whitton, 1976; Pawlik-Skowrońska, 2001; John *et al.*, 2011). Las concentraciones de metales tóxicos medidas en estas algas son similares a las de *Spirogyra* del río, excepto por el cobre (Cu), que es mayor.

Debido a que en canal y el río hay macroalgas clorofitas dominantes, que además están acumulando metales tóxicos en concentraciones por arriba de la NOM-147, concluimos que estos ambientes están siendo afectados por los jales depositados en esta zona con actividad minera y que existe una ruta de transporte de metales por escurrimiento agua de lluvia-jal-suelo-río-alga. La técnica ICP-OES es sensible y da resultados precisos para este tipo de estudio. Este primer estudio exploratorio despierta el interés ambiental y abre la puerta para futuras investigaciones en este sitio, con potenciales repercusiones socioecosistémicas.

Agradecimientos

A la M. en C. Ma. Carolina Muñoz Torres por los análisis realizados en el laboratorio de Geoquímica ambiental del Centro de Geociencias, UNAM; a los Biólogos Fernando Aguilar Galván y Andrés R. Zamora Huerta por el trabajo de campo.

Referencias

1. CEM. (2004). Plant Tissue 1. Microwave sample preparation for MarsXpress.

2. Chen H, Teng Y, Li J, Wu J y Wang J (2016). Source apportionment of trace metals river sediments: a comparison of two methods. *Environmental pollution*, 211: pp. 28-37.

3. Concas A, Ardau C, Cristini A, Zuddas P y Cao G. (2006). Mobility of heavy metals from tailings to stream waters in a mining activity contaminated site. *Chemosphere,* 63 : pp. 244-253.

4. Cortinas C. y Ordaz Y (1994). Industria minera. En: *Situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1993-1994*. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE).

5. DOF (Diario Oficial de la Federación). 2007. Norma oficial Mexicana NOM-147- SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

6. El Azhari A., Roujjatti A., y El Hachimi A.L. (2016). Assessment of heavy metals and arsenic contamination in the sediments of the Moulouya River and the Hassan II Dam downstream of the abandoned mine Zeïda (High Moulouya, Morocco). *Journal of African Sciences*,

119: pp. 279-288.

7. Environmental Protection Agency (EPA) (2001). *Parameters of water quality: interpretation and standars*. Irlanda, pp. 57.

8. Goldsmith ST, Moyer P y Harmon RJ (2015). Hydrogeochemistry and biochemistry of tropical small mountain rivers. *Applied Geochemistry*, 63: pp. 453-455.

9. Gupta A, Rai DK, Pandey RS y Sharma B (2009). Analysis of some heavy metals in the riverine water, sediments and fish from river Ganges at Allahabad. *Environmental Monitoring Assensment*, 157: pp. 449-458.

10. Hamidian AH, Zareh M, Poorbagher H, Vaziri L y Ashrafi S (2016). Heavy metal bioaccumulation in sediment, common reed, algae, and blood worm from the Shoor river, Iran. *Toxicology and Industrial Health*, 32 (3): pp. 398-409.

11. Harding JPC y Whitton BA (1976). Resistance to zinc of *Stigeoclonium tenue* in the field and the laboratory. *British Phycological Journal*, 11 (4): pp. 417-426.

12. Heston D (2015). *Total carbonate hardness in Cumberland Valley groundwater*. Examen práctico, Universidad Shippensburg, Pennsylvania, EUA.

13. Ibemenuga KN (2013). Bioaccumulation and toxic effects of some heavy metals in freshwater fishes. *Animal Research International*, 10 (3): pp. 1792-1798.

14. Jaiswar S, Mudassar AK y Shailehs M (2015). Bioaccumulation of heavy metals by freshwater algal species of Bhavnagar, Gujarat, India. *Journal of Environmental Biology*, Vol. 36: pp. 1361-1366.

15. John DM, Whitton BA y Brook AJ (2011). The freshwater algal flora of the British Isles. *Cambridge University Press*, 2ª ed., pp. 547, 587.

16. Lot A. (2007). *Guía ilustrada de la Cantera Oriente: caracterización e inventario biológico*. Universidad Nacional Autónoma de México, 1ª ed., pp. 87-95.

17. Novotny V (1995). Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving water. En: *Heavy metals: problems and solutions* (W. Salomons, U. Förstner y P. Mader: eds.). Springer, Alemania, pp. 33-52.

Pawlik-Skowrońska B (2001). Phitochelatin production in freshwater algae *Stigeoclonium* in response to heavy metal contained in mining water; effects of some environmental factors. *Aquatic Toxicology*, 52: pp. 241-249.

18. Salas-Megchún EF (2014). *Geoquímica y mineralogía de jales en mina Aurora, Xichú*. Tesis para obtener el título de maestro en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro.

19. Servicio Geológico Mexicano (SGM) y Secretaría de Economía (SE). (2014). *Panorama minero del estado de Guanajuato*.

20. United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2012). Toxic pollutants. *Code of Federal Regulations*, título 40, capítulo I, subcapítulo N, parte 401, 401.15.

21. Vega E, Verde R. y Pérez M (2003). *La teoría y la práctica en el laboratorio de Química Analítica I*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Ciudad de México, pp. 109.

22. William M y Lewis Jr. (2008). Physical and chemical features of tropical flowing waters. En: *Tropical Stream Ecology* (Dudgeon David edr.). Londres: Academic Press, pp. 1-21.

Fecha de recepción: 30 de agosto de 2017
Fecha de aceptación: 16 de octubre de 2017

Selección de voltaje aplicado a una celda de electrólisis microbiana basada en lixiviado de composta

Elías Arias,[1] Ana del Rosario Pérez Paz,[1]
Bibiana Cercado[2]

Resumen
La producción a bajo costo de bioenergía a partir de residuos orgánicos ha generado gran interés, debido a la abundancia de los materiales de desecho utilizados; de esta forma, se crean alternativas innovadoras para obtener energías limpias. Para los procesos de producción de un biocombustible, particularmente de electricidad en celdas electroquímicas microbianas, se necesita un gasto de energía. En el presente trabajo, se muestra un análisis del potencial requerido para una producción de corriente eléctrica en celdas de electrólisis microbianas, en las cuales se utiliza como sustrato e inóculo un medio de lixiviado de composta. Este trabajo tiene por objetivo seleccionar el voltaje de operación para una celda bioelectroquímica microbiana que será utilizada en experimentos posteriores.

Para alcanzar el objetivo, se realizó una comparación entre diversos potenciales (0.2 V, 0.4 V, 0.6 V y 1.0 V/Ag/AgCl), aplicados a un electrodo de fieltro de grafito en celdas de una cámara y tres electrodos. Se realizó la caracterización electroquímica de cada electrodo por potencial de circuito abierto, voltametría cíclica y espectroscopía de impedancia electroquímica. La selección del potencial de electrodo se realizó considerando cada una de las técnicas electroanalíticas.

Los resultados mostraron que la densidad de corriente aumentó con el potencial aplicado y que los procesos bioelectroquímicos durante la selección del voltaje de operación están fuertemente influenciados por la estabilidad del electrodo de referencia, la temperatura y las condiciones iniciales del sistema electrodo-electrolito. El análisis de resultados mostró que el potencial de operación 0.4 V es el más adecuado para continuar con estudios de producción de energía en celdas electroquímicas microbianas en el sistema: electrodo ánodo de tela de carbón grafito y medio electrolítico lixiviado de composta.

Palabras clave: bioelectroquímica, celdas electroquímicas microbianas, corriente eléctrica, energía alternativa

Introducción

Los combustibles fósiles han sido la fuente de energía más empleada desde la revolución industrial, pero en la actualidad presentan fundamentalmente dos problemas: por un lado, son recursos finitos y se prevé el agotamiento de las reservas en plazos más o menos cercanos; por otro lado, la sociedad se enfrenta a la escasez de agua y su contaminación. Las tecnologías para el tratamiento de agua han avanzado de manera considerable, pero recientemente también se ha procurado aprovechar al máximo todos los residuos presentes en efluentes y descargas.

Por esta razón, investigadores y científicos se han dado a la tarea de implementar nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de minimizar los residuos y expandir su explotación como fuente de energía. Debido a ello, se han propuesto nuevas tecnologías híbridas como las celdas de electrólisis microbianas.

Las celdas electroquímicas microbianas son una tecnología emergente que podría contribuir a solucionar dos de los problemas más críticos que afronta la sociedad actual: la crisis energética y la

[1]Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco: Carretera Vecinal Comalcalco-Paraíso, km 2, Ra. Occidente, 3ª Sección, CP 86651; Comalcalco, Tabasco, México
[2]Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, SC: Parque Tecnológico, Querétaro, Sanfandila, CP 76703, Pedro Escobedo, Querétaro, México; bcercado@cideteq.mx

disponibilidad de agua no contaminada (Logan y Rabaey, 2010).

Numerosos investigadores han sugerido que la producción microbiana de electricidad puede convertirse en una forma importante de bioenergía porque las celdas bioelectroquímicas microbianas ofrecen la posibilidad de extraer corriente de una amplia gama de desechos orgánicos complejos y biomasa renovable (Lovley *et al.*, 2008).

Las celdas de combustible microbianas no son nuevas. El concepto de utilizar microorganismos como catalizadores en las celdas de combustible se ha explorado desde la década de 1970 y las celdas de combustible microbianas implementadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas se presentaron en 1991 (Verstraete *et al.*, 2005).

Una celda de electrólisis microbiana es un dispositivo que utiliza microorganismos para convertir la energía química presente en la materia orgánica (desecho) en energía eléctrica. Este proceso depende de la formación de bioelectrodos microbianos.

Además de utilizar materia residual de bajo costo como alimentación, las celdas bioelectroquímicas microbianas tienen otras ventajas; por ejemplo, la producción de energía en diversas formas, como corriente eléctrica, hidrógeno y biogás. Es un proceso que opera en condiciones suaves de presión, temperatura y pH; además, por ser básicamente anaerobio, la generación de lodos es relativamente baja (Liu *et al.*, 2014).

Para el caso específico de celdas de electrólisis microbianas, la aplicación de energía en forma de diferencia de potencia o voltaje de celda es inevitable; no obstante, el consumo energético podría ser aún menor que el requerido en el tratamiento de aguas residuales por aireación.

Debido a ese consumo de energía requerido, es necesario realizar estudios detallados para cada sistema particular, consistente en tipo de electrodo y medio líquido en el que es sumergido dicho electrodo.

En este trabajo, se exploró el efecto del potencial aplicado a un electrodo de carbono en la producción de corriente eléctrica, con el objetivo de determinar un voltaje de operación de una celda bioelectroquímica microbiana basada en lixiviados de composta para estudios posteriores.

Experimental

Preparación de medio

Se preparó una mezcla de lixiviado de composta con 1000 ml de agua destilada y 667 ml de composta, en una proporción de 3:2. La mezcla se enriqueció con 50 mM de cloruro de potasio y 10 mM de acetato de sodio. El medio tuvo un pH de 8.6 a 8.9 y una conductividad de entre 112 y 142 mS/cm.

Electrodos y celda electroquímica

Los materiales para la construcción de los electrodos fueron: tela de carbón (Grupo Rooe, México), malla de níquel (Sigma Aldrich) y, como conexión externa, alambre de titanio (Alfa Aesar). Los electrodos se prepararon en secciones de 2 cm x 2 cm y se colocó alambre de titanio de 10 cm de largo como conexión externa. La malla de níquel fue lavada con acetona, etanol y, finalmente, con agua destilada. La tela de carbón fue flameada durante 3 segundos para eliminar la capa hidrofóbica presente en el producto comercial.

La celda electroquímica fue de una cámara de 100 ml con instalación de electrodo de trabajo, contra-electrodo y electrodo de referencia. El control de la celda se llevó al cabo mediante un potenciostato-galvanostato BioLogic y el *software* EC-Lab (figura 1).

Técnicas electroquímicas

Las técnicas para caracterización del sistema fueron potencial de circuito abierto durante 1 hora y espectroscopía de impedancia electroquímica en modo potenciostático, con una amplitud de la

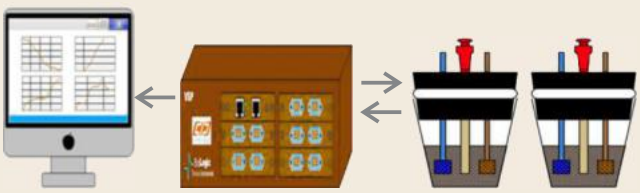


Figura 1. Montaje de celdas electroquímicas de 3 electrodos controladas por potenciostato-galvanostato.

perturbación de 10 mV y en un intervalo de frecuencia de 100 kHz a 10 mHz. Posteriormente, se realizó una voltametría cíclica con una velocidad de barrido de 5 mV/s en un intervalo de potencial de 1.0 V a -1.0 V, empleando un electrodo tipo Ag/AgCl como referencia. Finalmente la producción de corriente eléctrica se determinó mediante cronoamperometría aplicando potenciales de 0.2 V, 0.4 V, 0.6 V/Ag/AgCl por un periodo de 10 días. Para ciertas técnicas, se analizó el potencial 1.0 V/Ag/AgCl como caso extremo de voltaje de operación.

Resultados y discusiones

La caracterización electroquímica de electrodos de tela de grafito en lixiviados de composta se llevó al cabo una vez transcurrido un periodo de 10 días de formación de biopelícula en cronoamperometría. En las siguientes secciones, se muestran los resultados para cada técnica y su análisis comparativo.

Potencial de circuito abierto

Se analizó el potencial de circuito abierto de los electrodos en cada una de las celdas, antes y después de la formación de biopelícula, y se identificó el sistema que mostraba mayor voltaje cuando no se aplicaba un potencial o corriente externos. Los sistemas electrodo-electrolito, antes de la formación de biopelícula, mostraron comportamientos diferentes en cada caso. Se observó un aumento, una disminución y estabilidad del potencial (tabla 1).

Estas observaciones sugieren que el sistema no es reproducible, ya que, sin previa alteración por aplicación del voltaje, el potencial que tiende hacia el equilibrio de cada una de las celdas fue distinto. Por el contrario, el potencial de circuito abierto de los electrodos, una vez formada la biopelícula, fue más homogéneo (figura 2).

Potencial para ser aplicado (V/Ag/AgCl)	Potencial de circuito abierto t=0 h	Potencial de circuito abierto t=1 h
0.2	-24.50	0.25
0.4	13.62	13.76
0.6	8.70	0.27

Tabla 1. Potencial de circuito abierto de electrodos antes de ser sometidos a diferentes potenciales durante la formación de biopelícula

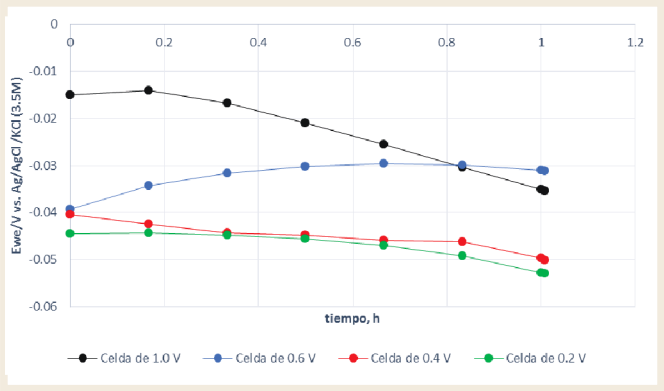


Figura 2. Evolución del potencial de circuito abierto de tela de carbón inmersa en lixiviado de composta para los electrodos que fueron sometidos a un potencial fijo desde 0.2 V hasta 1.0 V/Ag/AgCl.

Al analizar las curvas de potencial, se puede concluir que el potencial de tela de carbón en lixiviado de composta tenderá a disminuir en el tiempo y probablemente se encuentre en un valor de -0.05 V/Ag/AgCl (0.147 V/ENH).

La selección de potencial de operación de una celda bioelectroquímica microbiana, en función de los resultados de potencial de circuito abierto, sugiere que los valores de 0.2 V y 0.4 V podrían ser los más adecuados, ya que, tanto para celdas galvánicas como para celdas electrolíticas, es deseable operar con bioánodos que presenten un potencial con tendencia hacia valores negativos.

Espectroscopía de impedancia electroquímica

Los espectros de Nyquist permiten realizar un análisis semi-cuantitativo de la distribución de resistencias en el sistema electrodo-electrolito. La primera intersección del bucle con el eje de la componente real (Re(Z)) corresponde a la resistencia óhmica. La diferencia entre la segunda y la primera intersección del bucle representa la resistencia a la transferencia de carga en la interfase electrodo-electrolito.

Los bucles en los espectros de Nyquist confirmaron que el sistema etiquetado para un potencial fijo de 0.6 V fue anómalo, dada la resistencia a la transferencia de carga en el orden de 35,800 Ω (figura 3a). Por lo tanto, se decidió

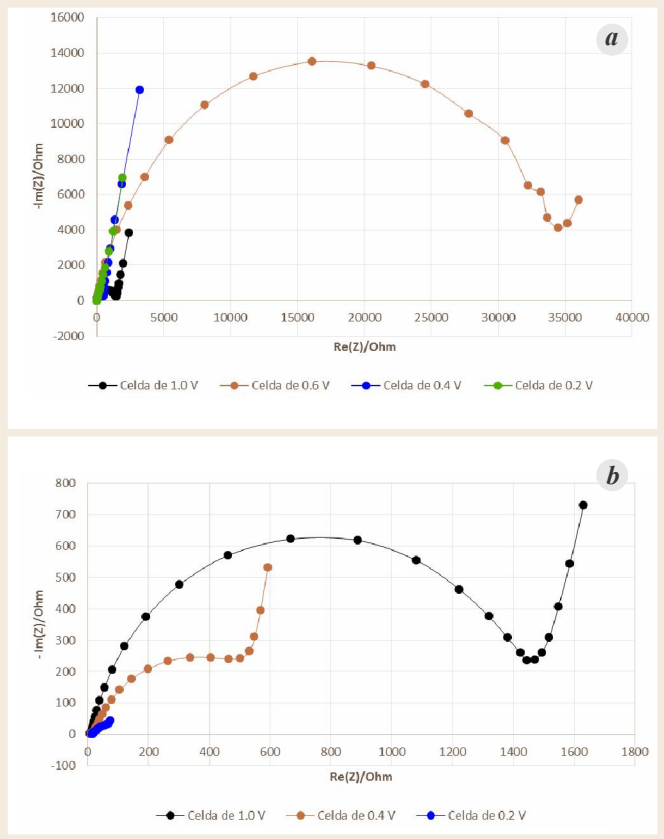


Figura 3. Espectros de Nyquist para tela de carbón inmersa en lixiviado de composta: ***a)*** Comparación de los espectros para las celdas en un potencial fijo de 0.2 V, 0.4 V, 0.6 V y 1.0 V/Ag/AgCl; ***b)*** Acercamiento de los bucles en la región de alta frecuencia.

tomar los datos de esta celda con precaución.

La resistencia a la transferencia de carga fue directamente proporcional al voltaje aplicado para las celdas sometidas a 0.2 V, 0.4 V y 1.0 V/Ag/AgCl, de tal manera que el ajuste a un semi-círculo de los datos en la región de alta frecuencia resultó en valores 82 Ω, 720 Ω y 1500 Ω (figura 3b). Estos resultados señalan que el potencial 0.2 V permitirá la formación de un bioelectrodo que favorece el paso de electrones desde el medio hasta el material sólido de electrodo.

Voltametría cíclica

Los voltamperogramas mostraron un perfil de corriente capacitiva, sin picos de oxidación o reducción, para las celdas sometidas a 0.6 V y 1.0 V/Ag/AgCl (figura 4b). Por el contrario, el voltamperograma de la celda a 0.2 V reveló una onda de oxidación en 0.7 V/Ag/AgCl, mientras que la celda sometida a un potencial fijo de 0.4 V mostró un pico de oxidación de 475 mA m^{-2} en 0.35 V/Ag/AgCl (figura 4a).

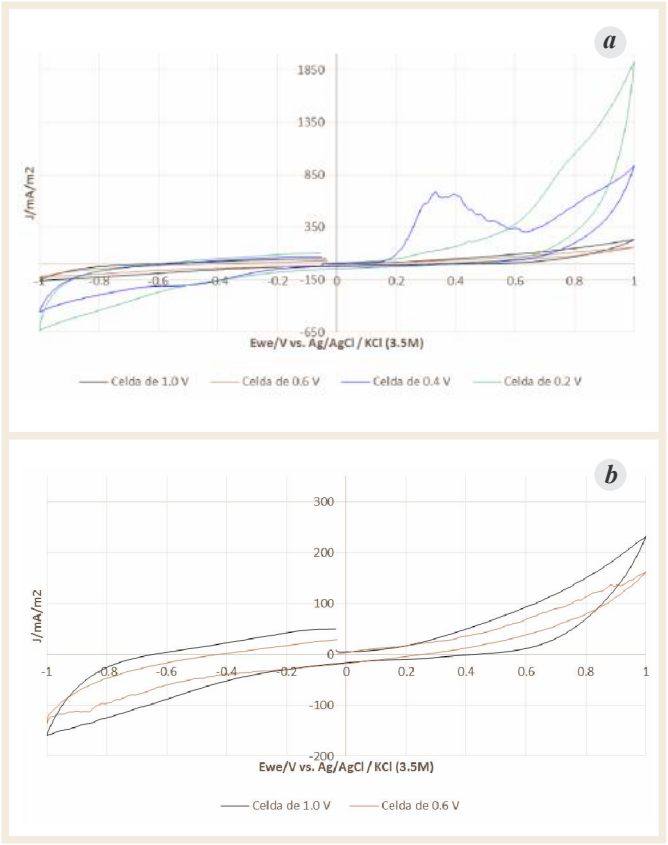


Figura 4. Voltamperogramas de tela de carbón en lixiviado de composta: ***a)*** Electrodos sometidos a potencial fijo de 0.2 V, 0.4 V, 0.6 V y 1.0 V/Ag/AgCl por un periodo de 10 días; ***b)*** Acercamiento de los voltamperogramas para electrodos a potencial fijo de 1.0 V y 0.6 V/Ag/AgCl.

Estudios previos en el sistema tela de carbón-lixiviado de composta muestran voltamperogramas con ondas y picos en la zona de potenciales positivos (Cercado, 2013); sin embargo, la reacción asociada a la señal de oxidación es incierta, pues depende de varios factores, entre los que se encuentran el material de electrodo, la composición del medio y la velocidad de barrido. En el presente trabajo, se estableció la hipótesis de que el pico de oxidación en potencial 0.35 V/Ag/AgCl corresponde a la oxidación del acetato por los microrganismos y a la consecuente transferencia de carga a través de citocromos de la membrana celular (Yang *et al.*, 2012). Por lo tanto, el potencial aplicado al electrodo

de carbón que resulta idóneo en función del análisis de los voltamperograms es de 0.4 V/Ag/AgCl.

Cronoamperometría

Los cronoamperogramas muestran la producción de corriente en función del tiempo. Se encontró que, a mayor voltaje aplicado, mayor densidad de corriente producida y mayor carga experimental asociada al periodo de operación de la celda. Las fluctuaciones de temperatura ambiental tuvieron un efecto en la producción de corriente; dicho efecto se observó a manera de ciclos consecutivos de aumento y disminución de la densidad de corriente (figura 5a.

La máxima densidad de corriente fue de 20.4 mA m^{-2} para la celda que operó con 0.6 V/Ag/AgCl en 5.4 días y la mínima fue de 1 mA m^{-2} para la celda con 0.2 V/Ag/AgCl en 6 días. La carga experimental fue de 2.7 C, 0.96 C y 0.34 C para las celdas sometidas a potencial constante de 0.6 V, 0.4 V y 0.2 V/Ag/AgCl, respectivamente. El perfil de los cronoamperogramas no siguió un patrón franco de crecimiento microbiano, el cual consiste en una fase de latencia, una fase exponencial y una fase estacionaria, seguidas de un periodo de muerte celular cuando el experimento tiene una duración prolongada sin adición de substrato. Debido a ello, se verificó el desempeño de la celda con el mayor voltaje aplicado, *i.e.* 0.6 V/Ag/AgCl (figura 5b).

En el experimento duplicado, se encontró que la densidad de corriente alcanzó 108 mA m^{-2}, el cual es un valor similar a celdas bioelectroquímicas microbianas operando con efluentes de la industria alimentaria (Cercado-Quezada *et al.*, 2012). Aunque los resultados presentaron una mejora en la corriente producida, se debe destacar la falta de reproducibilidad de los sistemas electrodo-electrolito cuando se utilizan medios reales. Una propuesta para superar esta dificultad es instalar sistemas por duplicado o triplicado cuando sea posible.

Con base en los datos de generación de corriente, se puede sugerir utilizar un potencial de operación de 0.6 V/Ag/AgCl; no obstante, el consumo de energía sería mayor al aplicar un mayor voltaje a la

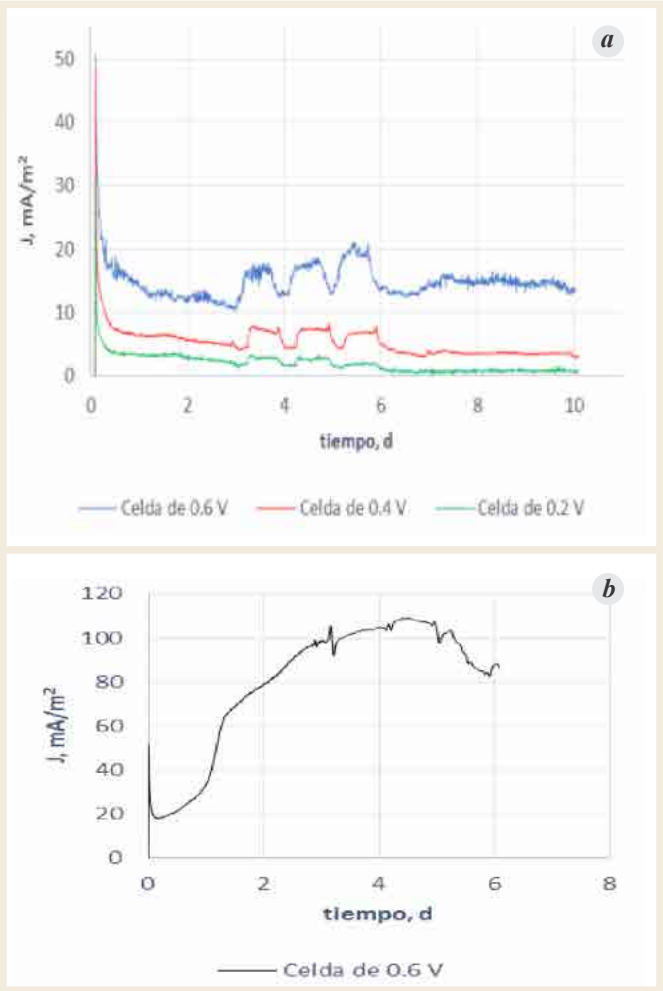


Figura 5. Cronoamperogramas de tela de carbón inmersa en lixiviado de composta: ***a)*** potenciales aplicados a los electrodos 0.2 V, 0.4 V, 0.6 V/Ag,AgCl; ***b)*** repetición a 0.6 V/Ag/AgCl.

celda bioelectroquímica microbiana. Por lo tanto, la selección de potencial aplicado también debe sujetarse a un balance de energía considerando el producto de interés, que para futuros trabajos puede ser metano o hidrógeno, como ya han reportado otros autores (Logan y Rabaey, 2012).

Conclusiones

El aprovechamiento de materia orgánica residual en celdas bioelectroquímicas microbianas para producción de energías alternativas requiere la preparación de bioelectrodos. Los bioelectrodos son altamente dependientes del potencial aplicado y del sistema electrodo-electrolito en estudio; debido a ello, es necesario realizar un estudio exploratorio del potencial de operación que resulte más adecuado para cada sistema particular.

En el presente trabajo, se evaluó un sistema compuesto por tela de carbón inmersa en lixiviado de composta mediante técnicas electroquímicas, a fin de seleccionar el potencial de electrodo que permitiera el mejor desempeño de una celda bioelectroquímica microbiana. A través de la medición de potencial de circuito abierto y de espectroscopía de impedancia electroquímica, se encontró que los potenciales aplicados de 0.2 V y 0.4 V/Ag/AgCl proporcionaban el potencial de bioelectrodo más negativo y la menor resistencia a la transferencia de carga. Considerando los voltamperogramas, se confirmó que el potencial aplicado de 0.4 V/Ag/AgCl es el más adecuado con base en las evidencias de señales de oxidación típicas del acetato. Finalmente, se debe realizar un balance entre el potencial de electrodo o voltaje aplicado a la celda y el valor energético del producto de interés, a fin de confirmar las condiciones de operación idóneas.

Agradecimientos

E. Arias y A.R. Pérez recibieron un apoyo económico de la AMC a través del Programa de Verano de la Investigación Científica 2017. El proyecto de investigación es financiado por el Fondo CONACYT-SENER-FSE (núm. 247006).

Referencias

1. Cercado B, Byrne N, Bertrand M, Pocaznoi D, Rimboud M, Achouak W y Bergel A (2013). Garden compost inoculum leads to microbial bioanodes with potential-independent characteristics. *Bioresource Technology*, 134, pp. 276-284: doi:10.1016/j.biortech.2013.01.123

2. Cercado-Quezada B, Delia ML y Bergel A (2010). Testing various food-industry wastes for electricity production in microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, 101(8), pp. 2748-2754: doi:10.1016/j.biortech.2009.11.076

3. Liu WF y Cheng SA (2014). Microbial fuel cells for energy production from wastewaters: the way toward practical application. *Journal of Zhejiang University-Science A*, 15(11), pp. 841-861: doi:10.1631/jzus.A1400277

4. Logan BE y Rabaey K (2012). Conversion of wastes into bioelectricity and chemicals by using microbial electrochemical technologies. *Science*, 337, pp. 686-690.

5. Lovley DR (2008). The microbe electric: conversion of organic matter to electricity. *Current Opinion in Biotechnology*, 19(6), pp. 564-571. doi:10.1016/j.copbio.2008.10.005

6. Rabaey K y Verstraete W (2005). Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. Trends in Biotechnology, 23(6), pp. 291-298: doi:10.1016/j.tibtech.2005.04.008

7. Yang Y, Xu M, Guo J y Sun G (2012). Bacterial extracellular electron transfer in bioelectrochemical systems. *Process Biochemistry*, 47(12), pp. 1707-1714. doi:10.1016/j.procbio.2012.07.032

Fecha de recepción: 31 de agosto de 2017
Fecha de aceptación: 19 de octubre de 2017

El desarrollo psicológico en la práctica educativa

Nota previa

El profesor Omar Carillo (diciembre 1940-julio 2014) Nació en la ciudad de Mérida Yucatán, México, el 7 de diciembre de 1940. Profesor normalista de carrera, egresado de la Escuela Normal Rural Mactumactzá del estado de Chiapas y de la Escuela Normal Superior del estado de Puebla, donde cursó la Licenciatura en Pedagogía y más tarde se graduara como Licenciado en Educación Normal con Especialidad en Psicología Educativa en la Dirección de Mejoramiento Profesional del Magisterio en la Ciudad de México.

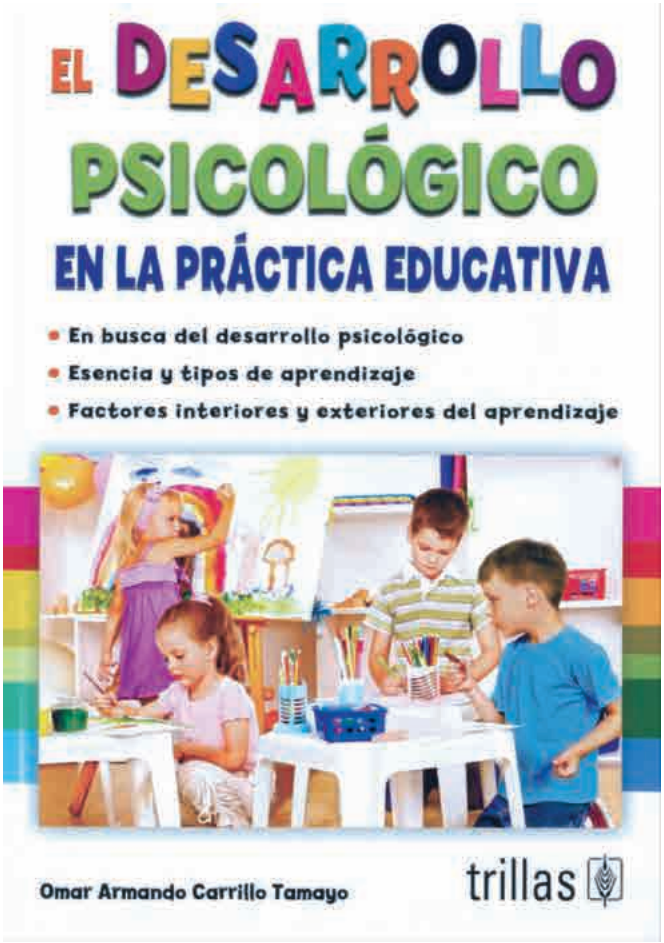
Maestro de 35 generaciones en diversas Instituciones de Educación Superior del Estado de Chiapas

La reseña, redactada por el Profesor Carrillo con motivo de la presentación del libro, la presentamos en este número de la revista NTHE como un pequeño homenaje a su memoria. El texto fue leído por la Dra. Ileana Carrillo González, docente de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Chiapas, en el Congreso organizado por la Universidad Marista de Querétaro "Los retos de la educación en México, Gestión del conocimiento y de las instituciones educativas", en el mes de abril de 2017.

La certeza racional de la Psicología de la Educación es que, tanto el proceso enseñanza-aprendizaje como la propia Educación en su accionar, pueden mejorar notablemente, mediante la aplicación de los conocimientos psicológicos. Y es que esta disciplina se encarga precisamente de ello.

El enfoque científico de referencia explica y mejora la educación a partir de sus aportaciones, considerando a la teoría y a la práctica educativa como un conjunto de quehaceres prácticos y profesionales por demás importantes y necesarios; además explica, que el punto de partida no es la psicología, sino las preocupaciones y necesidades que se plantea la propia educación.

Esas son las razones por las cuales en las últimas tres décadas, se ha observado que la Psicología de la Educación ya no sólo trabaja únicamente enfocada al proceso enseñanza—aprendizaje escolar, sino que ha



ido ampliando su campo de acción a otros entornos como son los familiares, los laborales, e incluso en los mismos medios de comunicación, de información o tecnológicos.

Una corriente considera que la educación es el desarrollo personal resultado de un proceso interno, que a su vez, cumple el rol de acompañar, facilitar y ayudar a las personas en dicho proceso. Otra postura dice que el crecimiento personal es resultado de un proceso de aprendizaje externo a las personas y que la educación, ayuda a facilitar la adquisición de tales aprendizajes por parte del sujeto.

Todos los procesos de desarrollo psicológico tienden a una dinámica interna que responde a pautas universales, pero la forma y la orientación de esta dinámica interna es inseparable del contexto físico-geográfico, socio-cultural y económico en que está inmersa la persona en desarrollo, esta importante aseveración, por el momento, no es considerada por quienes intervienen en las tareas necesarias para alcanzar los fines inmediatos del proceso educativo de los educandos de todos los niveles, y nos referimos

concreta y directamente a padres de familia y a maestros. De conformidad con esto, los conceptos de cultura, desarrollo y aprendizaje están totalmente relacionados, y en tal relación la educación juega un rol clave para que los grupos humanos participen de estos conocimientos. Esto es en concreto el espíritu fundamental del texto: ´"El desarrollo psicológico en la práctica educativa"

El interés por la Educación, por la enseñanza y por el aprendizaje, marcan la tendencia principal de la Psicología de la Educación por establecer una serie de principios generales que nos lleven a comprenderlos como ámbitos específicos, ineludibles e insoslayables del conocimiento y del trabajo educativo escolar; así y sólo así, se podrá crear la interrelación necesaria entre el alumno y la manera en que se intenta promover su aprendizaje, mediante la enseñanza tanto en el hogar con su propia familia, en la escuela con sus compañeros y Maestros y en su comunidad con sus vecinos en general.

Cobra importante papel en la necesidad de un nuevo enfoque psicológico de la educación considerar la atención a las condiciones y características propias del Desarrollo Psicológico de los educandos tales como la inteligencia, la memoria, el pensamiento, la afectividad que integran a sus sentimientos y emociones, sus valores, sus juicios y sus diversas funciones volitivas.

Se plantea de alguna manera la atención prioritaria de todas las funciones psicológicas como sustento del desarrollo de las actividades didácticas, para dar génesis al binomio: hogar-escuela, es decir que estamos ante la magnífica oportunidad de aprovechar la importante labor educativa de la familia ya que su participación constituye un elemento trascendental en la educación infantil.

En la actualidad se vive una reducción del concepto de educación; esto quiere decir que su protagonismo la ha llevado a identificar a la Psicología de la Educación, tan sólo como una psicología de la educación escolar, escueta, reduccionista y equivocada, que permite tan sólo identificarse con actividades específicas del proceso enseñanza aprendizaje en las aulas. Es imprescindible y necesario que se formule un concepto de educación más amplio en el cual se incluyan los tipos de prácticas educativas no escolares, como lo son las del ámbito de la familia y de otros entornos sociales e institucionales a nivel local, estatal, nacional e internacional.

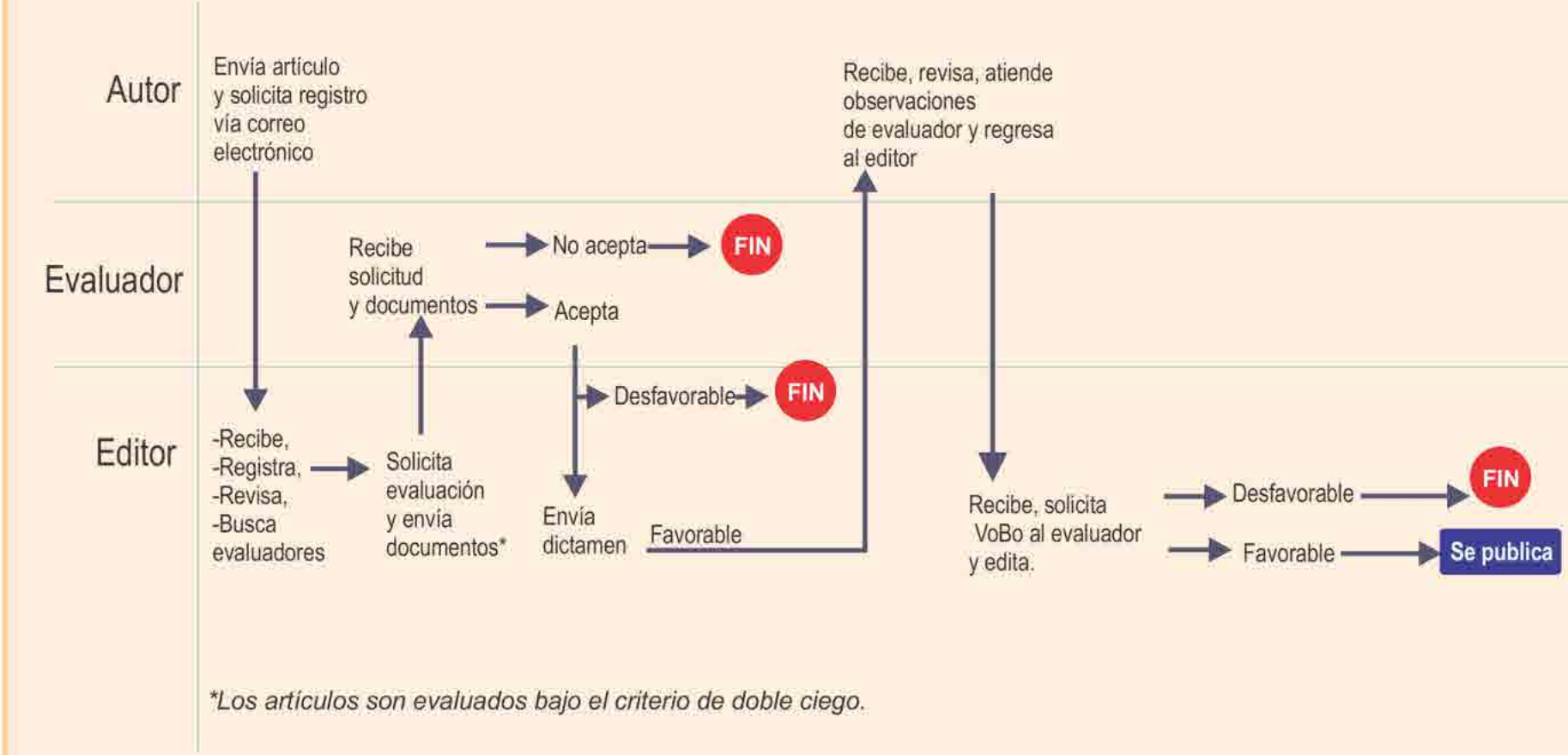
Esta es la causa fundamental por la que los diversos actores del proceso educativo tienen que entender y asumir en sus relaciones interpersonales, que la EDUCACIÓN, es una PRÁCTICA SOCIAL INTEGRAL, y que como tal implica comportamientos ideológicos y morales, por lo que en ningún momento es aceptable refugiarse en un enfoque neutral, archi-científico y archi-disciplinado como el que en la actualidad se vive en mayor parte de las aulas de las Instituciones de Educación Básica y que resulta bastante perjudicial a los propósitos que se pretenden; ya que lo que se hace y se dice es todo, menos educar.

Es urgente y necesario discutir y responderse a preguntas que generen los CAMBIOS para alcanzar los mejores resultados; como por ejemplo: ¿qué se entiende por Educación de Calidad?, ¿Cómo debe atenderse la diversidad de necesidades educativas de los niños y de las niñas?, ¿Cuáles son las actitudes y los papeles de los actores del proceso educativo (padres de familia, autoridades educativas, maestros y maestras de grupo) en su relación con los educandos?, y sobre todo ¿qué tipos de recursos, ejercicios y materiales didácticos se deben utilizar así como, ¿cuáles son las formas idóneas de utilizar dichos recursos?, ¿Qué es necesario primero, lograr el avance del Desarrollo Psicológico o el aprendizaje ¿qué se pretende alcanzar con el trabajo escolar?, ¿Cuáles son las características y cualidades de un DOCENTE (así con mayúsculas) que sea capaz de garantizar los mejores resultados en su quehacer cotidiano?, ¿Cuáles son las principales herramientas del trabajo educativo?, entre otras; estos son, en concreto, los contenidos del texto "El Desarrollo Psicológico en la Práctica Educativa".

Cierto es que los esfuerzos por relacionar las prácticas educativas escolares con las de otra índole, han ido aumentando a lo largo de los últimos años, pero es urgente dejar en claro que la Psicología Educativa no abarca solamente lo escolar, sino que comprende una apertura planeada en forma adecuada, que incluye otros tipos de prácticas educativas, formales y no formales, mismas que tienen que ser incrementadas de manera racional y constante al quehacer docente cotidiano de las aulas escolares.

Además, el Texto en referencia incluye las formas de ser y de actuar del Docente, así como las condiciones y características, necesarias para cumplir la más grande y sublime de las tareas humanas: ayudar a los seres humanos a ser tales, en lo individual y en lo social.

Proceso editorial revista electrónica NTHE



*Los artículos son evaluados bajo el criterio de doble ciego.

Nthe
ISSN 2007-9079
NTHE, palabra otomí que significa vínculo o enlace (se pronuncia "enté")
Revista electrónica de difusión científica, tecnológica y de innovación del estado de Querétaro

NORMAS PARA PUBLICAR

ANTECEDENTES

En 1988 surge el Boletín NTHE como medio de difusión impreso para las actividades que desarrollaba el CONCYTEQ en sus diversos Programas. En su etapa posterior en la década de los noventas se determina transformar su contenido y pasa de boletín a revista con el objetivo de difundir el quehacer de los investigadores y estudiantes de posgrado que en materia de ciencia, tecnología e innovación producen en Querétaro. A partir del año de 2010 la revista se edita para su publicación en formato digital cuyo contenido se estructura con artículos de investigación con la participación de autores provenientes de Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación ubicados en el Estado de Querétaro.

Las propuestas de artículos que se reciben, son sometido a dos procesos de revisión. La primera revisión la realiza un investigador (Revisión por pares) conocedor de la temática que se trate quien determina la pertinencia de la publicación del artículo en cuestión conforme a los puntos a evaluar mencionados en el apartado 5. La segunda es una revisión editorial de sintaxis y corrección de estilo.

OBJETIVO

Fortalecer la difusión de la ciencia, la tecnología y la innovación entre la sociedad queretana', promoviendo la difusión de artículos de investigación relacionados al quehacer científico, tecnológico y de innovación de los investigadores del estado de Querétaro a través de artículos de investigación.

Periodicidad	Reserva de derechos al uso exclusivo	ISSN
Cuatrimestral	**04-2014-030713265000-203**	**2007-9079**

1.-ENVÍO DE ARTÍCULOS.

Los artículos que se propongan deberán ser respaldados por un proyecto de investigación además de que sean inéditos.

El o los autores enviarán su colaboración junto con el formato de registro a la dirección electrónica de NTHE (nthe@concyteq.edu.mx).

-El documento debe ser enviado en Word en archivo .doc o .docx.

Temáticas - 2017:		
Derechos humanos y su relación con la ciencia, la tecnología y la innovación.	El quehacer de la ciencia , la tecnología y la innovación en el estado de Querétaro	5º Encuentro de jóvenes investigadores del estado de Querétaro.

2.-ESTRUCTURA y FORMATO DE LOS TRABAJOS:

Los trabajos deberán ser enviados *in extenso* y estructurados de la siguiente forma:

a) **Título corto** y que contenga la información esencial del contenido del trabajo y lo suficientemente atractivo para invitar a su lectura, que no supere 90 caracteres ó 16 palabras.
b) **Autoría.** Indicar el nombre y apellidos de autor o autores, su filiación institucional, indicando sus datos de contacto como dirección postal, electrónica o teléfono institucional.
c) **Resumen de tipo informativo**. Debe contener los objetivos, las características del contexto del estudio, la metodología empleada, los resultados y las conclusiones. Con una extensión no mayor a 250 palabras.
d) **Palabras clave.**

Nthe
ISSN 2007-9079
NTHE, palabra otomí que significa vínculo o enlace (se pronuncia "ənté")
Revista electrónica de difusión científica, tecnológica y de innovación del estado de Querétaro

e) **Introducción.**
f) **Cuerpo del trabajo** (desarrollo del tema).
g) **Resultados**. Presenta los principales hallazgos que dan respuesta a los objetivos de la investigación presentados en la introducción
h) **Discusión y conclusiones**.
i) **Referencias bibliográficas** (APA sexta edición).

3.-PARA EL FORMATO DEL ARTÍCULO CONSIDERAR LO SIGUIENTE

Número máximo de caracteres ó páginas	**18 500** caracteres con espacios o un máximo de 10 páginas
Número máximo de referencias bibliográficas	**20**
Título	Letra Arial narrow negrita en **24 puntos**.
Subtítulos	Letra Times New Roman negrita en **14 puntos**.
Cuerpo del trabajo	Letra Times New Roman en **12 puntos**.
Interlineado y columnas	Interlineado a espacio sencillo. **Dos columnas** con un ancho de **8.54 cm** y un espacio entre columnas de **0.5 cm**.
Referencias, títulos de gráficos y tablas	Letra Arial Narrow en **10 puntos**.

4.-GRÁFICOS, FOTOS Y TABLAS, ESTAS ÚLTIMAS EN CASO DE SER INCORPORADAS COMO IMAGEN.

Deberán contar con una resolución mínima de 2000 pixeles en su lado menor.

5.-EVALUACIÓN

Los artículos recibidos serán sometidos a un arbitraje bajo el criterio de doble ciego, que será realizado por dos investigadores distintos al Centro de Investigación o Institución de Educación Superior del cual provenga el autor y a una revisión editorial de sintaxis y corrección de estilo. Tanto las observaciones de la evaluación como las modificaciones propuestas producto de la revisión editorial se pondrán a consideración de los autores hasta llegar a la versión final del trabajo, que es la que se editará para ser incluida en la revista.

Los puntos a considerar en la evaluación son los siguientes:

1. ¿El título refleja el contenido del manuscrito?
2. ¿El contenido es original?
3. ¿Es una contribución valiosa en su disciplina?
4. ¿Las figuras, fotos y tablas son claras y pertinentes?
5. ¿Los análisis estadísticos son apropiados?
6. ¿Los datos respaldan las interpretaciones y conclusiones?
7. ¿Se incluyen las referencias bibliográficas necesarias y sólo las solicitadas en éste documento?
8. ¿Se han respetado los requerimientos solicitados en los puntos 2 y 3?
9. ¿La calidad de redacción y estilo es adecuada?

El envío de cualquier colaboración a la revista implica no sólo la aceptación de lo establecido en este documento, sino también la autorización al CONCYTEQ para darlo a conocer en su página electrónica www.concyteq.edu.mx.