

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CIENCIAS AGROPECUARIAS, CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS, CIENCIAS DE LA SALUD,
INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS, CIENCIAS ECONÓMICAS, CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

AÑO 22
ENERO-ABRIL 2014

61

EDICIÓN CUATRIMESTRAL
ISSN: 1665-4412



- La modificación de los estratos del bosque y su incidencia sobre especies leñosas semidecíduas, Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba
- Esfuerzo de extracción de clavos y tornillos para madera en cuatro especies de pino de Durango, México
- Ley de enfriamiento de Newton de orden fraccionario
- Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz
- Análisis de proyectos de Programación Orientada a Objetos utilizando métricas de *software* como medio para determinar necesidades didácticas
- La brecha digital en el estado de Aguascalientes
- Estudio de la fluencia térmica de PET reciclado utilizando el proceso de termoformado
- Pablo Latapí Sarre. *In memoriam*
- Caracterización mecánica por ondas de esfuerzo de madera plastificada de *Quercus scytophylla*
- Estrés oxidativo y su impacto en la salud. Reseña



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Dirección General de Investigación y Posgrado
Departamento de Apoyo a la Investigación

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES, año 22, número 61, periodo enero-abril 2014, es una publicación periódica, cuatrimestral, multidisciplinaria, editada y distribuida por la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags., Tel./Fax. 449 910-74-42, www.uaa.mx/investigacion/revista, revistaiyc@correo.uaa.mx. Editor responsable: Rosa del Carmen Zapata. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2002-042412342500-102, ISSN: 1665-4412. Número de Certificado de Licitud de Título: 12284, Número de Certificado de Licitud de Contenido: 8497, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro Postal en SEPOMEX No. PP01-0003. Diseñada e impresa en el Departamento de Procesos Gráficos de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags. Este número se terminó de imprimir el 30 de abril de 2014 con un tiraje de 1,000 ejemplares. Precio por ejemplar \$60.00 (pesos). Costo por suscripción anual \$160.00 (pesos).

Los artículos firmados son responsabilidad de su autor y no reflejan necesariamente el criterio de la institución, a menos que se especifique lo contrario.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

La revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes está citada en los siguientes:

ÍNDICES:

Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACYT,

<http://www.conacyt.gob.mx>

Índice Internacional, "Actualidad Iberoamericana" ISSN 0717-3636. Centro de Información Tecnológica-CII, La Serrana, Chile. <http://www.citchile.cl>

IRESIE (Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa), <http://iresie.unam.mx>

LATINDEX (Sistema Regional de Información en línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal), <http://www.latindex.org>

PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias), <http://www.dgb.unam.mx/periodica.html>

REDALYC (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), <http://www.redalyc.org>

BASES DE DATOS:

DIALNET (Hemeroteca de artículos científicos hispanos en internet), <http://dialnet.uniroja.es>

DOAJ (Directory of Open Access Journals), <http://www.doaj.org>

HELA (Catálogo de Hemeroteca Latinoamericana), <http://www.dgb.unam.mx/hela.html>

ULRICH'S Periodicals Directory, <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>



**ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

FOTOGRAFÍAS DE PORTADA:

- Dispositivo para deformación de flexión curva • EcoStar • Cultivos de maíz ciclo otoño-invierno 2013-2014 en el ejido El Amole, Guasave, Sinaloa • Programación Orientada a Objetos utilizando métricas de *software* • Portada del libro *Estrés oxidativo y su impacto en la salud* • Fotografía de probetas curvas y rectas • Lotes estudiados en la RBSR y en los LFA

DIRECTORIO

M. en Admón. Mario Andrade Cervantes
Rector

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Secretario General

Dra. Guadalupe Ruiz Cuéllar
Directora General de Investigación y Posgrado

M. en C. Gabriel Ernesto Pallás Guzmán
Decano del Centro de Ciencias Agropecuarias

M. en C. José de Jesús Ruiz Gallegos
Decano del Centro de Ciencias Básicas

M. en C. Luis Enrique Arámbula Miranda
Decano del Centro de Ciencias de la Ingeniería

Dr. Raúl Franco Díaz de León
Decano del Centro de Ciencias de la Salud

Dr. Mario Eduardo Zermeño de León
Decano del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción

Dra. Sandra Yesenia Pinzón Castro
Decana del Centro de Ciencias Económicas y Administrativas

M.I. José Jorge Saavedra González
Decano del Centro de Ciencias Empresariales

Dr. Daniel Eudave Muñoz
Decano del Centro de Ciencias Sociales y Humanidades

M. en RSM José Luis García Ruvalcaba
Decano del Centro de las Artes y la Cultura

CONSEJO EDITORIAL

- Dr. Francisco Cervantes Pérez
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
- Dr. Alfredo Feria Velasco
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
- Dr. Luis Miguel García Segura
INSTITUTO CAJAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, ESPAÑA
- Dr. Frank Marcano Requena
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
- Dr. Javier de Felipe Oroquieta
INSTITUTO CAJAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, ESPAÑA
- Dr. Philippe Poujeol
UNIVERSIDAD DE NIZA-SOPHIA, ANTIPOLIS FRANCESA
LABORATORIO DE FISIOLÓGIA CELULAR Y MOLECULAR
- Dr. José Luis Reyes Sánchez
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN
DEPTO. DE FISIOLÓGIA, BIOFÍSICA Y NEUROCIENCIAS

COMITÉ EDITORIAL

- Dr. Jaime Raúl Bonilla Barbosa
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
 - Dr. Juan Carlos A. Jáuregui Correa
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
 - Dra. Edith R. Jiménez Huerta
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS ECONÓMICO
ADMINISTRATIVAS
 - Dra. María J. Rodríguez-Shadow
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
DIRECCIÓN DE ETNOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA SOCIAL
 - Dr. Óscar Alejandro Viramontes Olivas
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN SOCIAL Y ADMINISTRATIVO
Y SUSTENTABLE
 - Dra. Mineko Shibayama
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INFECTÓMICA Y PATOGÉNESIS MOLECULAR
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
- Mtra. Rosa del Carmen Zapata
DEPARTAMENTO DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN
Editor
 - Lic. Sandra Margarita Ruiz Guerra
Asistente
 - Lic. Mónica Ávalos Valladares
Corrector de estilo
 - Mtra. Pia María White
Corrector de estilo idioma Inglés
 - DEPARTAMENTO DE PROCESOS GRÁFICOS
Armado e impresión

CONTENIDO

INVESTIGACIÓN

Pág.

CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

- **La modificación de los estratos del bosque y su incidencia sobre especies leñosas semidecíduas, Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba** 5-11
Structural modification of the forest and its impact on semi-deciduous woody species, Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba
Seidel González Díaz
María Amparo León Sánchez
Rogelio Sotolongo Sospedra
Fidel Góngora Rojas
- **Ley de enfriamiento de Newton de orden fraccionario** 12-18
Fractional Newton cooling law
José Francisco Gómez Aguilar
José Roberto Razo Hernández
- **Análisis de proyectos de Programación Orientada a Objetos utilizando métricas de software como medio para determinar necesidades didácticas** 19-25
Object-Oriented Programming project analysis with software metrics as a means to determine instructional needs
Ramón Ventura Roque Hernández
Juan Manuel Salinas Escandón
Adán López Mendoza
Salvador Mota Martínez
Óscar Flores Rosales

INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS

- **Estudio de la fluencia térmica de PET reciclado utilizando el proceso de termoformado** 26-32
Study of thermal fluency of recycled PET using the thermoforming process
Carlos Sánchez López
Carlos Humberto Saucedo Zárate
Mario Salvador Esparza González
Luis Antonio Castañeda Ramos
- **Caracterización mecánica por ondas de esfuerzo de madera plastificada de *Quercus scytophylla*** 33-40
Mechanical characterization by stress waves of *Quercus scytophylla* plasticized wood
Javier Ramón Sotomayor Castellanos
Joel Benancio Olguín Cerón
- **Esfuerzo de extracción de clavos y tornillos para madera en cuatro especies de pino de Durango, México** 41-47
Withdrawal strength of nails and wood screws in four pine species from Durango, Mexico
Juan Abel Nájera Luna
Jesús Ponciano Olivas Bejarano
Jorge Méndez González

CONTENIDO

REVISIÓN CIENTÍFICA

Pág.

- **Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz** **48-53**
Potential impacts of climate change on maize production
Ramiro Ahumada Cervantes
Gilberto Velázquez Angulo
Edith Flores Tavizón
Jaime Romero González
- **La brecha digital en el estado de Aguascalientes** **54-61**
The digital gap in the state of Aguascalientes
José Eder Guzmán Mendoza
Jaime Muñoz Arteaga
Francisco Javier Álvarez Rodríguez
César Eduardo Velázquez Amador

OBITUARIO

- **Pablo Latapí Sarre. *In memoriam*** **62-64**
Felipe Martínez Rizo

RESEÑA

- **Estrés oxidativo y su impacto en la salud** **65-66**
E. Patricia Herrera Gutiérrez

La modificación de los estratos del bosque y su incidencia sobre especies leñosas semidecíduas, Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba

Structural modification of the forest and its impact on semi-deciduous woody species, Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba

Seidel González Díaz^{1*}, María Amparo León Sánchez², Rogelio Sotolongo Sospedra², Fidel Góngora Rojas²

González Díaz, S., León Sánchez, M. A., Sotolongo Sospedra, R., Góngora Rojas, F., La modificación de los estratos del bosque y su incidencia sobre especies leñosas semidecíduas, Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 61: 5-11, enero-abril 2014.

RESUMEN

La modificación de los estratos del bosque semidecídúo en Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba; consecuencia de la actividad antrópica y la incidencia de las variables climatológicas es una cuestión que merece atención por parte de decisores en el territorio. Se seleccionaron las parcelas aleatoriamente y con el método de Bitterlich se contaron los individuos teniendo en cuenta familia, género y especies en función de los estratos; se calculó el índice de similitud e importancia ecológica de las especies y el grado de disturbio de las especies leñosas. El resultado permitió concluir que el patrimonio forestal del bosque semidecídúo en Sierra del Rosario, Candelaria, requiere con urgencia de acciones para su recuperación sostenible.

Palabras clave: disturbio, sostenibilidad, patrimonio forestal, ecología.

Keywords: disturbance, sustainability, forest heritage, ecology.

Recibido: 27 de febrero de 2013, aceptado: 25 de octubre de 2013

¹ Universidad de Artemisa

² Universidad de Pinar del Río

* Autor para correspondencia: sedo@isch.edu.cu, sejo@hab.uci.cu

ABSTRACT

Structural modification of the semi-deciduous forest in Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba is the result of human activity and of the impact of weather variables, thus it is an issue that deserves attention from policy makers in the territory. There were selected randomly and with the Bitterlich method individuals were plots wanted considering family, genus and species according to the strata. Furthermore the similarity index as long as the ecological importance of the species and the degree of disturbance of woody species was calculated. The results suggested that this deciduous forest heritage located in Sierra del Rosario Candelaria, urgently requires for sustainable recovery actions.

INTRODUCCIÓN

La conservación y utilización racional de los recursos forestales constituye un importante desafío de carácter global, por cuanto conseguir un adecuado equilibrio entre la utilización y conservación de estos recursos representa un aspecto crucial para el desarrollo (Gutiérrez, 2003).

Según Moreno (2001), uno de los problemas ambientales de mayor interés en el mundo lo constituye la pérdida de la diversidad biológica como consecuencia de la actividad humana. Directa o indirectamente, afecta la composición de la masa arbórea, su distribución en los espacios aéreos y edáficos, la composición de edades, la altura y diámetro de las copas, así como de los pisos o estratos del arbolado y la composición porcentual de éstos.

Los dramáticos cambios provocados por la conversión de bosques a tierras agrícolas ha afectado la diversidad biológica en los últimos 50 años, lo cual podría colocar a muchas especies en estado de amenaza crítica, según Laurance y Cochrane (2001), Laurance (2006), Pérez y Laurance (2006), Garibaldi y Sotolongo (2008).

Las particularidades de los bosques cubanos han sido estudiadas por muchos investigadores, cada uno ha presentado nueva y valiosa información desde las diferentes ramas del saber, como la silvicultura, la protección de planta y la etnobotánica. Entre ellos se destacaron Capote, Menéndez y Vilamajó (1985), Betancourt (1987), Álvarez y Varona (1988) y Bisse (1988).

Para la zona estudiada en la presente investigación los resultados más significativos fueron dirigidos por Herrera et al. (1987) en el estudio de las especies forestales de la Reserva de la Biósfera. García, Hernández, Zamora y Arzola (s/f) Herrera y García (1995), Herrera (2001) —todos vinculados al estudio de los bosques siempre verdes de Sierra del Rosario—, también trabajaron en esta área González, León, Acosta y Pedroso (2009) con la incidencia antrópica sobre los bosques de la localidad y González, Trabanco, Surima, González y Giménez (2006) con la autogestión comunitaria dirigida a la conservación de las orquídeas.

De las principales acciones antrópicas que inciden en el bosque semidecidual de Candelaria en Cuba, los autores antes enunciados concuerdan en las siguientes: tala de árboles para la producción de carbón y leña, tala para la producción de muebles y su comercialización, así como el desbroce de terrenos para la producción agropecuaria y de cultivos varios (García et al., s/f; Herrera et al., 1987; Herrera y García, 1995; Herrera, 2001).

De modo simultáneo a estas acciones se encuentra la deficiente política de manejo de los decisores del territorio sobre las especies forestales del lugar, donde se devela como problema que la modificación de los estratos del bosque incide negativamente sobre el patrimonio de las especies leñosas semideciduals en Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba. Diagnosticar el grado de incidencia de la modificación de los estratos del bosque sobre el patrimonio de las especies leñosas semideciduals en Sierra del Rosario,

Candelaria, Cuba, constituyó el objetivo central de la presente investigación.

Se estimó la riqueza de los estratos que conforman el bosque semidecidual en el área estudiada, el índice de similitud de las especies leñosas entre las dos principales divisiones políticas administrativas donde se encuentra el bosque semidecidual en Candelaria, se estimó el Índice Valor de Importancia de las especies leñosas y el porcentaje de perturbación en el bosque semidecidual en Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Según el ordenamiento forestal de 2006 realizado por la Empresa Forestal Integral Costa Sur San Cristóbal (EFICS/SC), el macizo montañoso del Municipio Candelaria se distribuye en ocho lotes; de los cuales, en cuatro de ellos se desarrolló la presente investigación: lotes forestales aledaños (LFA) 1, 4 y 8, y el lote 5 localizado en la Reserva de la Biósfera Sierra del Rosario (RBSR). El límite entre los LFA y la RBSR está dado por la carretera que va desde el Municipio Candelaria hasta el Municipio Bahía Honda (Figura 1).

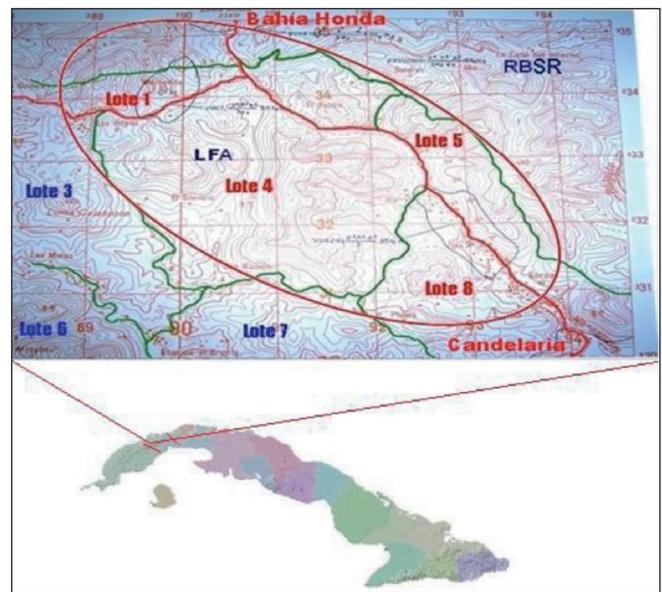


Figura 1. Lotes estudiados en la RBSR y en los LFA. Mapa de Candelaria a escala 1:25000.

En color rojo se muestran los lotes forestales donde se realizó la investigación y en azul los lotes forestales restantes del bosque semidecidual en Candelaria.

Las categorías del bosque en estos lotes son: bosque protector de agua y suelo (BPAS), en los lotes 1, 4 y 5, con un área total de 334.8 ha y bosque productor (BPr), en el lote ocho, con un área total de 882 ha.

Selección de la muestra

Para la selección de las parcelas se utilizó el método probabilístico aleatorio simple, ya que todas tuvieron la misma posibilidad de ser seleccionadas al azar en el área de estudio. La intensidad de muestreo se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$f = \frac{n}{N} * 100$$

donde: n es el # de parcelas a muestrear y N el Total de parcelas

$$f = \frac{64}{1975} * 100$$

donde el resultado final es de 3.24%.

Con el objetivo de conocer la fórmula a utilizar para determinar la cantidad de parcelas a estudiar se identificó el tipo de población teniendo en cuenta los requerimientos siguientes, si:

1 - f ≥ 0.98 – Población infinita

1 - f < 0.98 – Población finita

1 - 0.0324 = 0.967 < 0.98 – por tanto, la población estudiada es finita.

Con la identificación del tipo de población estudiada se demostró que la fórmula a utilizar para determinar la cantidad de parcelas a estudiar es la siguiente:

$$n = \frac{t^2 * Sx^2}{E^2 + \frac{t^2 * Sx^2}{N}}$$

donde n es el número de parcelas a estudiar, t² el valor tabulado Student, Sx² la Varianza, N el total de parcelas y E² el Error de muestreo. El resultado obtenido demostró que de las 1,975 parcelas existentes en el área de estudio, la investigación se podía realizar en 54. El autor trabajó en 64. Para la realización de esta actividad se cuadrículó en parcelas de 100 m² sobre el mapa donde se localizan los lotes estudiados en Sierra del Rosario, Candelaria, y se seleccionaron las parcelas al azar (Figura 2).

Se utilizó el método de Bitterlich para el conteo de las especies en las parcelas donde se encontraron 26 familias, 41 géneros y 42 especies. La identificación de las especies vegetales estuvo a cargo de profesores de la Facultad Forestal y Agronomía de la Universidad Hermanos Saíz Montes de Oca en

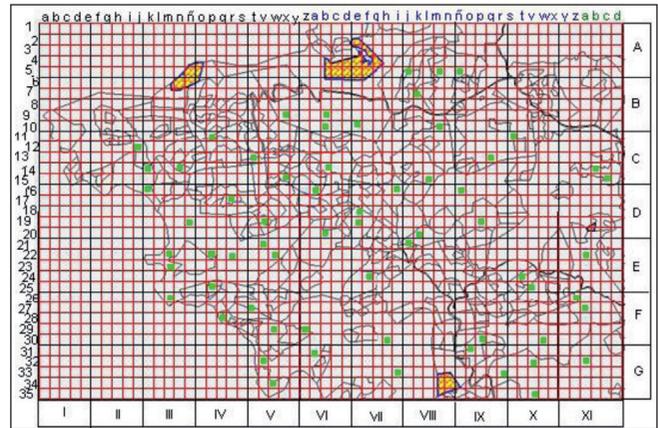


Figura 2. Muestra de las parcelas estudiadas y su localización. Escala 1:25000.

Pinar del Río, profesionales y técnicos de la EFICS S/C (Empresa Forestal Integral y Costa sur de San Cristóbal) y la USC (Unidad Silvícola de Candelaria). Se utilizó como literatura fundamental el *Diccionario Botánico de Nombres Vulgares Cubanos*, Tomo I y II (Roig, 1964), Betancourt (1987), Bisse (1988) y *Plantas Vasculares de la Flora de la República de Cuba* (1998, 2002, 2007, 2008). Los nombres científicos de las plantas se corrigieron con el programa www.tropicos.org

Estratos del bosque

La clasificación de la estratos del bosque semideciduo se realizó con el método propuesto por Álvarez y Varona (1988): estrato arbóreo alto (árboles con más de 6 m de altura), estrato arbóreo bajo (árboles entre y 6 m de altura), estrato arbustivo (árboles entre 0.8 y 2 m de altura), estrato epífita (bromeliáceas y orquídeas), estrato herbáceo.

Para cada estrato de la RB y los LFA se determinó la riqueza de las especies leñosas y el índice de similitud que expresa el grado de semejanza de las mismas. Por tratarse de datos cuantitativos, se utilizó el índice de Morisita-Horn, su fórmula se muestra a continuación (Moreno, 2001):

$$I_{M-H} = \frac{2 \sum (a_i * b_j)}{(da + db) aN * bN}$$

da = ani² / aN²

db = bnj² / bN²

Índice de Morisita-Horn (I_{M-H}). Número de individuos de la i -ésima especie en el sitio A (a_{ni}). Número de individuos de la j -ésima especie en el sitio B (b_{nj}). aN = número total de individuos en el sitio A. bN = número total de individuos en el sitio B.

Se halló el índice valor de importancia de las especies leñosas (IVIE) con la fórmula propuesta por Keels, Gentry y Spinzi (1997). $IVIE = Ar + Dr + Fr / 100$, donde Ar es la abundancia relativa, Dr la dominancia relativa y Fr la frecuencia relativa. Se describen las especies dominantes observadas y registradas en los estratos.

Mediante la escala propuesta por Del Risco y Marrero (1987), las especies leñosas se ubicaron por intervalo de disturbios antrópicos. Los intervalos son: Intervalo V-Constantemente presente (CP): especies que aparecen en más del 80% de las parcelas muestreadas, Intervalo IV-Presentes (P): especies que aparecen entre un 60-80% de las parcelas muestreadas, Intervalo III-Medianamente presentes (MP): especies que aparecen entre un 40-60% de las parcelas muestreadas, Intervalo II-Pocas veces presentes (PVP): especies que aparecen entre un 20-40% de las parcelas muestreadas, Intervalo I-Raras (R): especies que se presentan en menos del 20% de las parcelas muestreadas. La fórmula utilizada es la siguiente: $GD = \frac{TIUSpP}{TSpP} \times 100$, donde GD es el grado de disturbio, $TIUSpP$ el total de individuos de una especie en las parcelas y $TSpP$ el total de especies en las parcelas.

El procesamiento de la información se realizó con el software BioDiversity Professional Beta, para Windows Versión 2 (McAleece, 1997) con base de

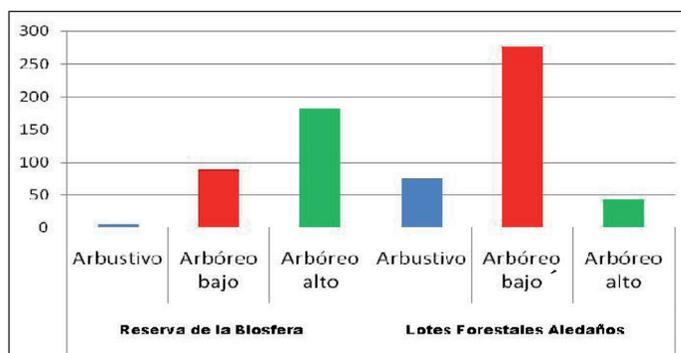


Figura 3. Riqueza de especies leñosas de acuerdo con los estratos del bosque.

datos montada en Microsoft Excel para Office 2007, Windows XP Professional, Versión 2002, Service Pack-3.

RESULTADOS

En la Figura 3 se muestra la riqueza de las especies leñosas por estratos del bosque semidecuido en la RB y los LFA, en Sierra del Rosario, Candelaria.

El índice de similitud de las especies leñosas del bosque semidecuido entre la RB y los LFA en Sierra del Rosario, Candelaria, es de 60.63%. En la Tabla 1 se muestra el índice de valor de importancia y el grado de disturbio de las especies leñosas. Los ejemplares que aparecen con el número 1 no están comprendidos entre las especies reportadas por Bisse (1988) para bosques semidecuidos. Los que presentan el número 2 no están reportados en el ordenamiento forestal realizado en el 2006 por la Empresa Forestal Integral Costa Sur de San Cristóbal.

DISCUSIÓN

En los resultados se observa que el bosque de Candelaria presenta diferencia en sus estratos de acuerdo con la localidad donde se encuentra, como se planteaba anteriormente, el mismo se localiza en parte de la RB y los LFA. En estas áreas, según González et al. (2006) y González et al. (2009), la divergencia entre las acciones desarrolladas para el manejo de las especies forestales constituye una de las principales causas de la diferencia existente entre los estratos, así como del bajo porcentaje del índice de similitud entre las históricas especies leñosas semidecuidas del paisaje estudiado.

Se observó por parte de los autores del presente trabajo que en la RB se trabaja por enriquecer el bosque natural y en los LFA por enriquecer las especies que reporten rápidos ingresos por la comercialización de la madera; además en los LFA se observó una fuerte actividad agropecuaria, situación muy diferente a la RB. Existen resultados sobre este tipo de bosque que concuerdan con los reportados en la presente investigación (Herrera et al., 1987; SNAP, 1989; Herrera y García, 1995).

Al analizar en los LFA, el alto porcentaje de especies no descritas para bosques semidecuidos con porcentaje de 59.52%, mostrado en la Tabla 1, se comprobó por el autor en intercambio con directivos y obreros de la localidad que muchas de ellas fueron

introducidas con fines industriales, como es el caso de *P. caribaea* y *C. arabica*. Estas especies presentan índices de importancia mayor a muchas especies leñosas que caracterizan al bosque estudiado, tal es el caso de *C. odorata* y *S. foetidissimum*, las cuales no están comprendidas en el ordenamiento de 2006.

Otra especie a tener en cuenta la constituye *S. jambos*, planta considerada invasora por su rápido crecimiento. La misma fue encontrada en nichos distantes de ríos y arroyuelos con un índice de importancia superior a especies características del bosque semidecídulo, como es el caso de *S.*

Tabla 1. Índice de importancia, grados y categorías de disturbio de las especies leñosas en Sierra del Rosario, Candelaria, Cuba

Nombre de las especies	IVIE	Grado disturbio	Categorías disturbio
<i>Matayba apetala</i> Radlk. ¹	88.95	58.82	III
<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O. F. Cook. ²	73.88	52.94	III
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg. ²	71.05	58.82	III
<i>Talipariti tiliaceum</i> (L.) Fryxell	39.10	29.41	II
<i>Callophyllum brasiliense</i> var. <i>antillanum</i> (Britton) Standl.	34.84	23.52	II
<i>Pseudomedea spuria</i> (Sw.) Griseb. ²	34.50	23.52	II
<i>Coffea arabica</i> var. <i>typical</i> (L.) Cramer. ^{1 y 2}	32.52	23.52	II
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston ^{1 y 2}	32.62	23.52	II
<i>Pinus caribaea</i> Morelet var. <i>hondurensis</i> ¹	25.93	23.52	II
<i>Cedrela odorata</i> L. ²	22.79	23.52	II
<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	22.52	17.54	I
<i>Inga punctata</i> Willd. ^{1 y 2}	21.72	17.54	I
<i>Juglans jamaicensis</i> (C.) DC subsp. <i>jamaicensis</i> ^{1 y 2}	21.09	17.54	I
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch. ^{1 y 2}	20.18	17.64	I
<i>Deherainia cubensis</i> (Radlk.) Mez. ^{1 y 2}	19.93	17.64	I
<i>Zanthoxylum coriaceum</i> A. Rich. ^{1 y 2}	19.82	17.64	I
<i>Calocarpum sapota</i> (Jacq.) Merr. ^{1 y 2}	17.99	11.76	I
<i>Tectona grandis</i> L. f. ¹	15.41	11.76	I
<i>Phoebe elongate</i> Nees. ¹	15.18	11.76	I
<i>Metopium brownie</i> (Jacq.) Urb. ^{1 y 2}	13.58	11.76	I
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.	13.38	11.76	I
<i>Nectandra antillana</i> Meisn.	13.15	5.88	I
<i>Euphoria longan</i> (Lour.) Steud. ^{1 y 2}	13.03	11.76	I
<i>Chrysophyllum cainito</i> L. ²	12.61	11.76	I
<i>Mangifera indica</i> L. ^{1 y 2}	12.10	11.76	I
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer. ²	8.10	5.88	I
<i>Pithecellobium arboretum</i> (L.) Urb. ^{1 y 2}	7.52	5.88	I
<i>Nectanda coriacea</i> (Sw.) Griseb. ²	7.49	5.88	I
<i>Citrus sinensis</i> L. ^{1 y 2}	7.30	5.88	I
<i>Ficus cassinervia</i> Willd. ²	7.13	5.88	I
<i>Cecropia adenopus</i> var. <i>lyratiloba</i> (Miq.) Hassl. ²	7.11	5.88	I
<i>Ocotea floribunda</i> (Sw.) Mez. ^{1 y 2}	7.06	5.88	I
<i>Prunus occidentalis</i> Sw. ²	6.95	5.88	I
<i>Hippocratea integrifolia</i> A. Rich. ^{1 y 2}	6.84	5.88	I
<i>Cupania macrophylla</i> A. Rich. ²	6.76	5.88	I
<i>Casearia hirsuta</i> Sw. ^{1 y 2}	6.52	5.88	I
<i>Andira inermis</i> (W.) Dr. ²	6.48	5.88	I
<i>Zanthoxylum martinicense</i> (Lam.) DC. ^{1 y 2}	6.47	5.88	I
<i>Melicocca bijuga</i> L. ^{1 y 2}	6.47	5.88	I
<i>Pimenta calyptanthes</i> Bucher. ^{1 y 2}	6.43	5.88	I
<i>Ternstroemia peduncularis</i> DC. ^{1 y 2}	6.32	5.88	I
<i>Sideroxylon foetidissimum</i> Jacq. ²	6.22	5.88	I

foetidissimum, *C. odorata*, *A. inermis*, *C. macrophylla*, *Prunus occidentalis*, entre otras. Similar resultado encontraron para esta área Herrera y García (1995).

Debe seguirse de cerca la especie leñosa *M. apetalá*. Esta especie de acuerdo con el criterio de algunos campesinos forestales de la zona fue introducida en el paisaje estudiado para explotar su madera con fines comerciales y en la actualidad alcanza el mayor índice de importancia de las especies leñosas.

El alto porcentaje (75%) de especies leñosas que caracterizan al bosque semidecíduo —ubicadas en la categoría de especies raras de acuerdo al grado de disturbio—, se considera consecuencia de la actividad antrópica.

Según González et al. (2006) y González et al. (2009), en los últimos tres años se incrementó la actividad ganadera en el lugar, sin tener en cuenta la capacidad de carga del paisaje. Estos autores demostraron que anualmente se extraen aproximadamente 9,224 m³ de madera para cocinar o para producir carbón; también plantearon que la incorrecta utilización de la tala por fajas, así como el inadecuado tratamiento dado a los residuos existentes en el bosque, contribuyeron a la proliferación de nuevas especies y a la ocurrencia de dos incendios forestales durante el periodo estudiado.

Otra causa que incide en la modificación de la estratos del bosque semidecíduo del área estudiada según González et al. (2006) está dada por la deficiente repoblación con especies vegetales descritas para este tipo de bosque. Al respecto se constató por los autores en intercambio con administrativos de la unidad de base que prima el interés económico por especies de rápido crecimiento, que facilita la explotación y comercio de la madera. La información fue corroborada por el investigador principal en intercambios sostenidos con presidentes de cooperativas, trabajadores de la EFICS S/C y campesinos.

CONCLUSIONES

La estimación del índice valor de importancia y del índice de similitud de las especies leñosas demuestra la dominancia de individuos reemplazando especies originales del bosque semidecíduo del Municipio Candelaria. En igual sentido se observó para las especies comprendidas en la categoría de disturbio como raras, que el 34.37% pertenecen a las especies originales del bosque estudiado y que existen especies como *Roystonea regia*, símbolo de Cuba y *Cedrela odorata*, entre otras, que no están comprendidas en el ordenamiento forestal de 2006, y no cuentan con una estrategia de manejo en los LFA, lo cual ha contribuido a la situación actual del estrato del bosque en esa localidad; a diferencia de la existente en la RB.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, O. P. y VARONA, C. T. *Silvicultura*. Playa. Ciudad de la Habana, Cuba: Ed. Pueblo y Educación. 3 pp., 1988.
- BETANCOURT, B. A. *Silvicultura especial de árboles maderables tropicales*. Playa. Ciudad Habana, Cuba: Ed. Científico Técnica-Instituto Cubano del Libro. 1987.
- BISSE, J. *Árboles de Cuba*. Playa. Ciudad Habana, Cuba: Ed. Científico Técnica-Instituto Cubano del Libro. 19 pp., 1988.
- CAPOTE, R., MENÉNDEZ, L., y VILAMAJÓ, D. Nuevas asociaciones del bosque tropical en la Reserva de la Biósfera Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba. *Memorias 1er Simposio de Bot.*, pp. 190-211, 1985.
- DEL RISCO, E. y MARRERO, R. *Propuestas de escalas para medir los rangos de disturbios antrópicos en los bosques*. Simposio internacional sobre manejo sostenible de los recursos forestales. Cuba. 1987.
- EMPRESA FORESTAL INTEGRAL COSTA SUR SAN CRISTÓBAL. *Ordenamiento del bosque en el Municipio Candelaria*. Informe de balance. 2006.
- GARCÍA, M. Proyecto "Plan de manejo de la Reserva de la Biósfera Sierra del Rosario". Cuba. MAB Young Scientist Research. Reference San Cristóbal/ *Ecovida*/565/19.1.1995.
- GARCÍA, M., HERNÁNDEZ, F., ZAMORA, J. L., y ARZOLA, D. *El Plan de Manejo Reserva de la Biósfera Sierra del Rosario 2010*.
- GARIBALDI, C. y SOTOLONGO, R. Efectos de la extracción y uso tradicional de la tierra sobre la Estratos y dinámica de bosques fragmentados en la Península de Azuero, Panamá. Tesis de

- Doctorado. Centro de Estudio Forestal de la Universidad de Pinar del Río, Cuba. Pp. 1-98, 2008.
- GONZÁLEZ, M., TRABANCO, L. P., SURIMA, O., GONZÁLEZ, S., y GIMÉNEZ, A. Autogestión comunitaria para la Conservación de orquídeas en la Zona de Transición Oeste de la Reserva de la Biósfera Sierra del Rosario y áreas aledañas, Cuba. *Ra Ximhai*, 5(3): 10 pp., 2009.
 - GUTIÉRREZ, B. Enfoque cooperativo para el mejoramiento genético y la conservación de los recursos forestales en Chile, Colombia y Costa Rica. *Investigación Agraria. Sistema y Recursos Forestales*, 12(3): 113 pp., 2003.
 - HERRERA, M. *Las Reservas de la Biósfera de Cuba*. La Habana, Cuba: Comité Nacional del Programa El Hombre y la Biósfera MAB de la UNESCO-Taller de EGRAFIP, 2001.
 - HERRERA, M. y GARCÍA, M. La Reserva de la Biósfera Sierra del Rosario (Cuba). Documentos de Trabajo, 10. [Serie Documentos de Trabajo]. París, Francia: Programa de Cooperación Sur-Sur UNESCO, 11 pp., 1995.
 - HERRERA, R. A., MENÉNDEZ, L., RODRÍGUEZ, M. E., y GARCÍA, E. E. *Ecología de los Bosques Siempre Verdes de la Sierra del Rosario, Cuba*. Proyecto MAB no. 1. Instituto de Ecología y Sistemática-Academia de Ciencias de Cuba. 447-472 pp., 1987.
 - KEELS, S., GENTRY, A., y SPINZI, L. *Using vegetation analysis to facilitate the selection of conservation sites in eastern Paraguay*. Volume 2. Biodiversity measuring and monitoring certification training. Washington: SI/MAB, 1997.
 - LAURANCE, W. F. *What are emerging threats? Emerging threats to tropical forests*. Chicago: The University of Chicago Press. Pp. 1-3, 2006.
 - LAURANCE, W. F. y COCHRANE, M. A. *Synergistic effects in fragmented landscapes*. Special section in *Conservation Biology*. Chicago, London. 1488-1535 pp. 2001.
 - MORENO, C. E. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis Vol. 1. Zaragoza: SEA. 13 pp., 2001.
 - PÉREZ, C. A. y LAURANCE, W. F. *Synergistic effects of simultaneous environmental changes. Emerging threats to tropical forests*. Chicago-London: The University of Chicago Press. Pp. 81-86, 2006.
 - PLANTAS VASCULARES DE LA FLORA DE LA REPÚBLICA DE CUBA. Jugladiaceae, Phytolaccaceae, Sapotaceae. Series A. Fascículo 6. Koenigstein, Federal Republic of Germany: Koeltz Scientific Books. 3 pp., 2002.
 - PLANTAS VASCULARES DE LA FLORA DE LA REPÚBLICA DE CUBA. Malvaceae. Series A. Fascículo 13. Königstein, Germany: Koeltz Scientific Books. 2 pp., 2007.
 - PLANTAS VASCULARES DE LA FLORA DE LA REPÚBLICA DE CUBA. Rutaceae, Oleaceae, Salicaceae. Series A. Fascículo 14. Königstein, Germany: Koeltz Scientific Books. 7 pp., 2008.
 - ROIG, J. A. T. *Diccionario Botánico de Nombres Vulgares Cubanos*. Tomo I. La Habana: Editorial Científico-Técnica. 1964.
 - ROIG, J. A. T. *Diccionario Botánico de Nombres Vulgares Cubanos*. Tomo II. La Habana: Editorial Científico-Técnica. 1964.
- De páginas electrónicas**
- PLANTAS VASCULARES DE LA FLORA DE LA REPÚBLICA DE CUBA. Mimosaceae. Series A. Fascículo 2. Koenigstein, Germany: Koeltz Scientific Books, 111 pp., 1998. De: <http://www.Koehz.com>.
 - SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS (SNAP). *Áreas Naturales Protegidas de Cuba*. De: <http://www.snap.co.cu/snap.htm>. 1989.
 - TRÓPICOS. Saint Louis, Missouri: Missouri Botanical Garden. De: <http://www.tropicos.org/NameSearch.aspx?name=Matayba+apetala&commonname>. 2 oct. 2013.

Ley de enfriamiento de Newton de orden fraccionario

Fractional Newton cooling law

José Francisco Gómez Aguilar^{1*}, José Roberto Razo Hernández²

Gómez Aguilar, J. F., Razo Hernández, J. R., Ley de enfriamiento de Newton de orden fraccionario. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 61: 12-18, enero-abril 2014.

RESUMEN

En este trabajo se propone una nueva ecuación diferencial fraccionaria que describe la ley de enfriamiento de Newton. El orden de la derivada a considerar es $0 < \gamma \leq 1$. Para mantener la consistencia con la ecuación física se introduce un nuevo parámetro σ . Este parámetro caracteriza la existencia de estructuras fraccionarias en el sistema. Se muestra que existe una relación entre el orden de la derivada fraccionaria γ y el nuevo parámetro σ . Debido a esta relación las soluciones de las correspondientes ecuaciones diferenciales fraccionarias están dadas en términos de la función de Mittag-Leffler, cuyas soluciones dependen sólo del orden fraccionario γ . Los casos clásicos son recuperados en el límite cuando $\gamma=1$.

Palabras clave: cálculo fraccionario (CF), ley de enfriamiento de Newton, funciones de Mittag-Leffler, ecuaciones diferenciales fraccionarias, derivada de Caputo, difusión anómala.

Keywords: fractional calculus, Newton cooling law, Mittag-Leffler functions, fractional differential equations, Caputo derivative, anomalous diffusion.

Recibido: 1 de julio de 2013, aceptado: 26 de febrero de 2014

¹ Departamento de Materiales Solares, Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México.

² Departamento de Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

* Autor para correspondencia: jgomez@ier.unam.mx

ABSTRACT

In this contribution we propose a new fractional differential equation to describe the Newton cooling law. The order of the derivatives is $0 < \gamma \leq 1$. In order to be consistent with the physical equation, a new parameter σ is introduced. This parameter characterizes the existence of fractional structures in the system. A relation between the fractional order time derivative γ and the new parameter σ is found. Due to this relation, the solutions of the corresponding fractional differential equations are given in terms of the Mittag-Leffler function depending only on the parameter γ . The classical cases are recovered by taking the limit when $\gamma=1$.

INTRODUCCIÓN

Aunque los fundamentos matemáticos del cálculo fraccionario (CF) se establecieron hace más de 200 años, sigue siendo un tema novedoso para los matemáticos. El cálculo de orden fraccionario no había sido utilizado en ingeniería debido a su complejidad y a la aparente descripción satisfactoria de los fenómenos con el cálculo de orden entero (ordinario), aunado al hecho de que no tiene una interpretación física y geométrica totalmente aceptable (Tenreiro Machado, 2003). Sin embargo, debido al hecho de que representa con mayor precisión algunos comportamientos naturales relacionados con diferentes áreas de la ingeniería, se ha venido utilizando con mayor frecuencia. Por ello, este tipo de ecuaciones ha asumido un papel importante para modelar la dinámica anómala de numerosos procesos relacionados con los sistemas complejos en muchas áreas de la ciencia y de la ingeniería (Wyss, 1986; Hilfer, 2000; Metzler y Klafter,

2000; Agrawal, Tenreiro Machado y Sabatier, 2004; González Gaxiola y Santiago, 2012). Entre las áreas en las que ha tenido más impacto destacan la física, la mecánica, la ingeniería, las finanzas, el electromagnetismo, la teoría de circuitos eléctricos, la bioingeniería, entre otras (Caputo, 1971; Hilfer, 1974; West, 2003; Magin y Ovadia, 2008; Petras, 2010; Obeidat, Gharibeh, Al-Ali y Rousan, 2011; Gómez Bernal, Rosales y Córdova, 2012; Gómez Aguilar, Rosales García, Guía Calderón y Bernal Alvarado, 2012; Gómez Aguilar, Rosales García, Bernal Alvarado, Córdova Fraga y Guzmán Cabrera, 2012; Rosales, Guía, Gómez y Tkach, 2012; Guía, Gómez y Rosales, 2013). Se pueden encontrar consideraciones físicas fundamentales a favor del uso de modelos basados en derivadas de orden no entero (Veliev & Engheta, 2004; Baleanu, Gūnvenc y Tenreiro Machado, 2010).

La ventaja de utilizar sistemas de orden fraccionario respecto a los sistemas de orden entero es que los primeros tienen memoria infinita, mientras que los otros tienen una memoria finita. Esta es la principal ventaja del uso del CF en comparación con los modelos clásicos de orden entero en los que tales efectos son, de hecho, despreciados. A diferencia de los trabajos mencionados anteriormente, donde el paso de la derivada ordinaria a una fraccionaria se realiza de manera directa, en Gómez, Bernal et al. (2012) se propone una manera sistemática de construir ecuaciones diferenciales fraccionarias tomando en cuenta la consistencia de los parámetros físicos, esto se realiza añadiendo un parámetro auxiliar σ , el cual tiene la función de normalizar las unidades físicas de la ecuación. El objetivo principal de este trabajo es la construcción sistemática de la ecuación diferencial que representa la ley de enfriamiento de Newton y la interpretación de los resultados arrojados.

Para analizar el comportamiento dinámico de un sistema fraccionario se necesita el uso de una definición apropiada de derivada fraccionaria. La complejidad del cálculo fraccionario radica en las múltiples definiciones que lo describen. Algunas definiciones comunes se encuentran en Podlubny (1994). De hecho, las definiciones de la derivada de orden fraccionario no son únicas y existen varias definiciones, incluyendo Grünwald-Letnikov, Riemann-Liouville, Weyl, Riesz, y la representación de Caputo. En la derivada de Caputo, si $f(t)$ es una constante, entonces su derivada de orden gamma es cero, lo que no ocurre con otras representaciones y se pueden

definir adecuadamente las condiciones iniciales para las ecuaciones diferenciales fraccionarias con la finalidad de que puedan ser manejadas de manera análoga al caso entero. La derivada de Caputo implica un efecto de memoria por medio de una convolución entre la derivada de orden entero y una potencia en el tiempo (Podlubny, 1994; Gutiérrez, Rosário y Tenreiro Machado, 2010). Por estas razones, en este documento se prefiere usar la derivada fraccionaria de Caputo (Podlubny, 1994), la cual está definida por:

$$D^\gamma f(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\gamma)} \int_0^t \frac{f^{(n)}(\tau)}{(t-\tau)^{\gamma+1}} d\tau, \quad (1)$$

donde $n-1 < \gamma \leq n$ (n es un entero, $1, 2, \dots \in \mathbb{N}$), y $f^{(n)}(\tau)$ representa la derivada de orden n de la función real evaluada en t . Otra característica muy importante en la forma de Caputo de la derivada fraccional es que su transformada de Laplace es:

$$F(s) = L\{f(t)\} = \int_0^\infty f(t)e^{-st} dt, \quad (2)$$

lo que supone que $f(t)$ no está definido para $t < 0$, entonces:

$$L\{D^\gamma f(t)\} = s^\gamma F(s) - \sum_{k=0}^{n-1} f^{(k)}(0)s^{\gamma-k-1}, \quad (3)$$

De la ecuación anterior se puede observar que la representación de la derivada de Caputo en el dominio de Laplace utiliza las condiciones iniciales $f^{(k)}(0)$, donde k es entero. Si las condiciones iniciales son cero, se tiene la definición habitual de la transformada de Laplace cuando γ es un entero. En general, una ecuación diferencial de orden fraccionario tiene la forma

$$\sum_{k=0}^n a_k D^{\gamma_k} f(t) = g(t), \quad (4)$$

donde $\gamma_k > \gamma_{k-1}$ y a_k son cualesquiera números reales, $g(t)$ es la fuente de algún sistema dinámico. La transformada inversa para $0 < \gamma < 1$ requiere la introducción de una función especial, la función de Mittag-Leffler (Dorrego y Cerutti, 2012), esta función es muy importante debido a que es el análogo al uso de la función exponencial en los sistemas de orden entero. La función está definida como

$$E_{a,b}(t) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{t^m}{\Gamma(am+b)}, \quad (a, b > 0), \quad (5)$$

donde $\Gamma(\cdot)$ es la función gamma.

MATERIALES Y MÉTODOS

La transferencia de calor está relacionada con los cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor; aquí se llevan a cabo procesos como condensación, vaporización, cristalización, reacciones químicas, etc., en donde la transferencia de calor tiene sus propios mecanismos y cada uno de ellos cuenta con características peculiares. La transferencia de calor es importante en los procesos porque es un tipo de energía que se encuentra en movimiento debido a una diferencia de temperaturas (gradiente); por tanto, existe la posibilidad de enfriamiento. Sin embargo, esta energía en lugar de perderse sin ningún uso es susceptible de transformarse en energía mecánica; por ejemplo, para producir trabajo, generar vapor, calentar una corriente fría, etc.

El cálculo fraccionario ha resultado una poderosa herramienta en la descripción de fenómenos complejos como la difusión anómala de la transferencia de calor (Metzler y Klaffer, 2000). En virtud de lo anterior es importante hacer una generalización utilizando operadores fraccionarios de la ecuación experimental empírica que relaciona la temperatura de enfriamiento de una cantidad de sustancia respecto al medio (ley de enfriamiento de Newton) y ajustar el orden de la ecuación diferencial fraccionaria que mejor describa a estos fenómenos. Experimentalmente se puede demostrar, y bajo ciertas condiciones es posible obtener una buena aproximación a la temperatura de una sustancia mediante la ley de enfriamiento de Newton. Esta puede enunciarse de la siguiente manera: "La temperatura de un cuerpo cambia a una velocidad que es proporcional a la diferencia de las temperaturas entre el medio externo y el cuerpo".

Lo anterior puede representarse como:

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_a), \quad (6)$$

donde t es la variable independiente y representa al tiempo, T es la temperatura del cuerpo, T_a es la temperatura del ambiente y k es una constante positiva llamada coeficiente de convección.

Para encontrar la solución de esta ecuación utilizamos la transformada de Laplace. Considerando a $T(0)=T_0$ como condición inicial, la solución de esta ecuación está dada por

$$T(t) = T_a + ce^{-kt}. \quad (7)$$

El valor de la constante k depende de las características del sistema, este coeficiente depende de las condiciones en la capa límite en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de las propiedades termodinámicas del fluido y de transporte. Existen tablas de valores para k que dependen del material con que está construido el sistema.

Representación fraccionaria de la ley de enfriamiento de Newton

Algunos autores reemplazan la derivada de orden entero por una fraccionaria en un contexto puramente matemático. Sin embargo, desde el punto de vista físico y de ingeniería esto no es del todo correcto debido a los parámetros físicos que existen en la ecuación diferencial y éstos no tienen la dimensionalidad obtenida en el laboratorio. Una posible solución es reemplazar el operador derivada temporal ordinario por el fraccionario en la siguiente forma:

$$\frac{d}{dt} \rightarrow \frac{d^\gamma}{dt^\gamma}, \quad 0 < \gamma \leq 1. \quad (8)$$

De la ecuación (8) se puede observar que esta representación no es correcta desde el punto de vista físico, debido a que el operador de derivada temporal d/dt tiene dimensión de segundos inversos s^{-1} , mientras que el operador derivada fraccionaria en el tiempo d^γ/dt^γ tiene s^γ . Para ser coherente con la dimensionalidad se propone introducir un parámetro auxiliar σ de la siguiente manera:

$$\left[\frac{1}{\sigma^{1-\gamma}} \frac{d^\gamma}{dt^\gamma} \right] = \frac{1}{s}, \quad 0 < \gamma \leq 1, \quad (9)$$

donde γ es un parámetro arbitrario que representa el orden de la derivada. En el caso $\gamma=1$ la expresión (9) se convierte en un operador derivada ordinario. De esta forma (9) es dimensionalmente consistente si y sólo si el nuevo parámetro σ tiene dimensiones temporales $[\sigma]=\text{segundos}$. Este tiempo se denomina tiempo cósmico y es un tiempo no local (Podlubny, 2002). El operador fraccionario se define como

$$\frac{d}{dt} \rightarrow \frac{1}{\sigma^{1-\gamma}} \frac{d^\gamma}{dt^\gamma}, \quad n-1 < \gamma \leq n. \quad (10)$$

La expresión (10) es una derivada temporal debido a que su dimensión es s^{-1} . El parámetro σ representa las componentes fraccionarias temporales, estas componentes muestran un comportamiento intermedio entre un sistema conservativo y un disipativo (Gómez, Bernal et al., 2012).

Para la ley de enfriamiento de Newton se tiene

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_a), \quad (11)$$

$$\frac{1}{\sigma^{1-\gamma}} \frac{d^\gamma T}{dt^\gamma} = -k(T - T_a), \quad (12)$$

$$\frac{d^\gamma T}{dt^\gamma} + k\sigma^{1-\gamma}(T - T_a) = 0. \quad (13)$$

Aplicando la transformada de Laplace (Podlubny, 1994) a (13) se tiene

$$s^\gamma T(s) - s^{\gamma-1}T_0 + k\sigma^{1-\gamma}T(s) - \frac{k\sigma^{1-\gamma}T_a}{s} = 0, \quad (14)$$

$$T(s) = \frac{k\sigma^{1-\gamma}T_a}{s(s^\gamma + k\sigma^{1-\gamma})} + \frac{s^{\gamma-1}T_0}{s^\gamma + k\sigma^{1-\gamma}}. \quad (15)$$

Si se considera que $a = k\sigma^{1-\gamma}$ y se sustituye en (15) se tiene

$$T(s) = \frac{aT_a}{s(s^\gamma + a)} + \frac{s^{\gamma-1}T_0}{s^\gamma + a}. \quad (16)$$

La transformada inversa de Laplace (Podlubny, 1994) de (16) es

$$T_a \frac{a}{s(s^\gamma + a)} = T_a(1 - E_\gamma(-at^\gamma)), \quad (17)$$

$$T_0 \frac{s^{\gamma-1}}{s^\gamma + a} = T_0(E_\gamma(-at^\gamma)). \quad (18)$$

Sustituyendo (17) y (18) en (16) se tiene

$$T(t) = T_a(1 - E_\gamma(-at^\gamma)) + T_0E_\gamma(-at^\gamma). \quad (19)$$

Sustituyendo $a = k\sigma^{1-\gamma}$ en (19) se tiene

$$T(t) = T_a + (T_0 - T_a)E_\gamma(-k\sigma^{1-\gamma}t^\gamma). \quad (20)$$

La ecuación (20) corresponde a la ley de enfriamiento de Newton fraccionaria. Si sustituimos $\gamma = 1$, se tiene

$$T(t) = T_a + (T_0 - T_a)E_\gamma(-k\sigma^{1-\gamma}t^\gamma) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-kt}. \quad (21)$$

La ecuación (21) coincide completamente con el resultado calculado para el caso clásico.

Se puede notar que el parámetro γ , el cual caracteriza el orden de la derivada fraccionaria, puede ser relacionado con el parámetro σ y el parámetro k , el cual representa las propiedades de transmisión de calor del medio con la muestra y cuyas unidades son s^{-1} , con esto se puede definir

$$\gamma = k\sigma, \quad (22)$$

donde:

$$\sigma = \frac{\gamma}{k}. \quad (23)$$

Se puede definir la magnitud $\delta = 1 - \gamma$, la cual caracteriza la existencia de componentes fraccionarias en el sistema. Es fácil ver que cuando $\gamma = 1$, se tiene $\sigma = 1/k$, y el valor de $\delta = 0$, resultando que en el sistema no existen componentes fraccionarias (caso clásico). Sin embargo, en el intervalo $0 < \gamma < 1$, δ crece y tiende a la unidad, apareciendo en el sistema componentes fraccionarias.

Al sustituir σ en la ecuación (20) se tiene

$$T(t) = T_a + (T_0 - T_a)E_\gamma[(-k^\gamma \gamma^{1-\gamma} t^\gamma)]. \quad (24)$$

La ecuación (24) corresponde a la ley de enfriamiento de Newton fraccionaria; esta ecuación sólo depende del parámetro γ y es consistente con las unidades obtenidas en el laboratorio.

RESULTADOS

Para realizar la simulación consideraremos $T(0) = T_0$; $T(1) = 55$; $T(5) = 30$; $T_a = 5$, elegidos arbitrariamente. Se simuló la ecuación $T(t)$ para diferentes valores de γ , los cuales fueron $\gamma = [1.00; 0.98; 0.96; 0.94]$, los resultados fueron graficados en una sola imagen para poder comparar.

En la simulación podemos apreciar efectos muy interesantes de la ecuación fraccionaria. Para el caso con $\gamma = 1$, la respuesta es idéntica al resultado graficado en el caso clásico, por lo que podemos asegurar

que la función encontrada con el procedimiento de transformada de Laplace fraccionaria es correcto. Cuando γ disminuye su valor se observa que el efecto de transmisión de temperatura se reduce; es decir, que la temperatura del cuerpo disminuye más lento con el tiempo, esto puede proveer una mejor aproximación al resultado obtenido en un experimento real sin necesidad de agregar otros términos a la ecuación,

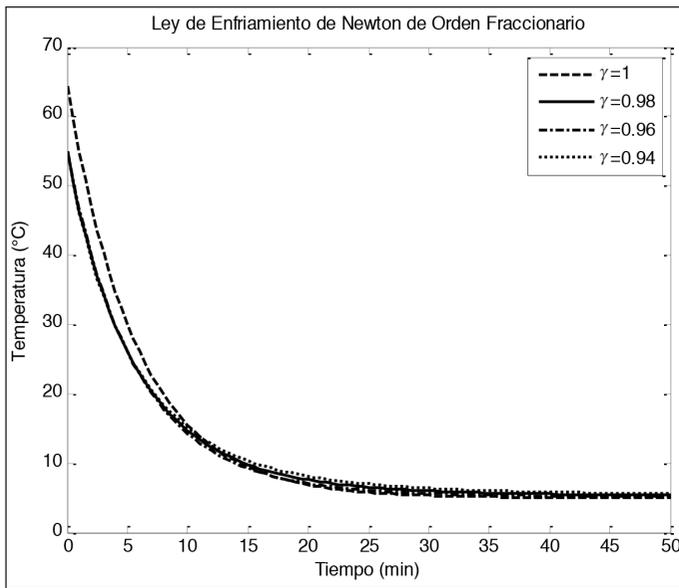


Figura 1. Simulación para $\gamma=1$, $\gamma=0.98$, $\gamma=0.96$ y $\gamma=0.94$.

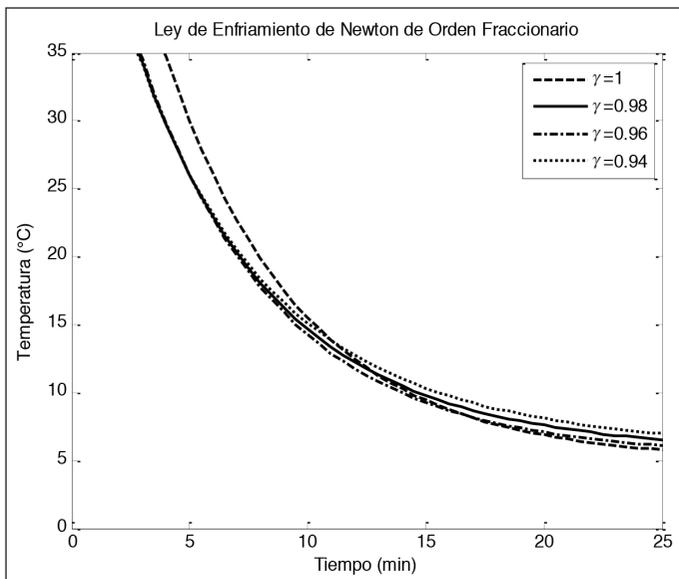


Figura 2. Acercamiento a la simulación para $\gamma=1$, $\gamma=0.98$, $\gamma=0.96$ y $\gamma=0.94$.

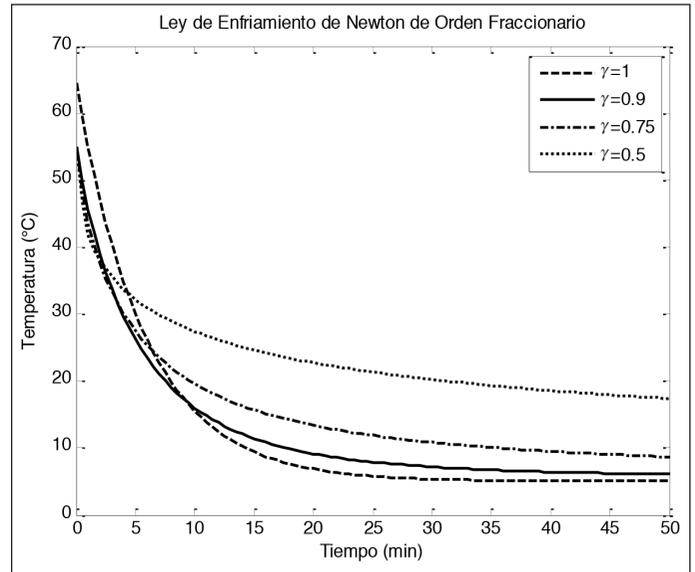


Figura 3. Simulación para $\gamma=1$, $\gamma=0.9$, $\gamma=0.75$ y $\gamma=0.5$.

al recordar que la ley de enfriamiento de Newton es una buena aproximación sólo cuando la diferencia de temperaturas es pequeña y el tiempo es corto.

Finalmente, el cálculo fraccionario permite simplificar el modelado de sistemas complejos, como es el caso de la transferencia de calor, mediante ecuaciones más simples. Al aplicar la definición de cálculo fraccionario a la ley de enfriamiento de Newton se obtiene una representación en la cual están intrínsecos fenómenos de difusión anómala, ya que estos fenómenos surgen a partir del incremento de la correlación en el movimiento de las partículas que componen al material en estudio. Estos fenómenos no pueden ser descritos mediante la ley de enfriamiento de orden entero debido a que en el modelado de los sistemas físicos se toman en cuenta procesos ordinarios (es decir, siguen leyes físicas clásicas), pero el medio es complejo; no sólo por ser no homogéneo en el sentido clásico, sino porque el medio se descompone de modo más o menos aleatorio en componentes altamente heterogéneas con muy distinta escalabilidad.

DISCUSIÓN

El CF puede representar sistemas dinámicos y fenómenos complejos no lineales utilizando un menor número de coeficientes debido a que el orden arbitrario de la derivada le da un grado de libertad adicional que permite ajustarse a un comportamiento específico. La representación fraccionaria de la ley de enfriamiento de Newton permite agregar un grado

de libertad adicional γ con lo cual se puede ajustar la curva que representa la temperatura del cuerpo, así como el coeficiente de convección, que en este caso está representado por k^γ . Las Figuras 1, 2 y 3 muestran que la aplicación de los operadores fraccionarios introducen de manera natural los términos de memoria que describe el CF y corresponden a la disipación intrínseca del sistema. Dado que las unidades presentes en la ecuación (23) son segundos, podemos definir un tiempo de relajación fraccionario. Este tiempo representa el tiempo característico necesario para una pérdida de energía coherente de los sistemas, si γ tiende a cero se tiene una disminución en el tiempo de relajación fraccionario y la existencia de estructuras fraccionarias, cuando γ tiende a la unidad se tiene un tiempo de relajación ordinario y las estructuras fraccionarias no están presentes. Al existir una diferencia térmica en el sistema se produce una región llamada capa límite térmica, el parámetro que caracteriza esta conductividad térmica es el coeficiente de convección k . Este coeficiente ahora ya no es local y está dado por k^γ .

CONCLUSIÓN

En este trabajo se ha propuesto la ecuación diferencial fraccionaria que describe a la ley de

enfriamiento de Newton. El aspecto relevante de este trabajo es la introducción del operador fraccionario sistematizando su construcción y considerando la dimensionalidad física existente mediante la introducción de un nuevo parámetro σ . Este parámetro caracteriza la existencia de estructuras fraccionarias en el sistema. Se ha encontrado también la relación entre el parámetro σ y el orden de la ecuación diferencial $0 < \gamma \leq 1$, muestra que las soluciones de la ecuación están dadas en términos de la función de Mittag-Leffler dependiendo solo del parámetro γ .

Fenómenos como el efecto Mpemba (Monwhea, 2006), en el que el agua hirviendo se congela más rápido que el agua a una temperatura más baja es un ejemplo de fenómeno de conducción y difusión anómala; desde la perspectiva del cálculo fraccionario se puede encontrar una mejor descripción de los fenómenos físicos presentes y la descripción detallada de este efecto. Otra posible aplicación del modelo descrito consiste en estimar el flujo de calor existente entre un cuerpo y un fluido homogéneo después de que el cuerpo sea introducido en fluido, el problema radica en corregir la conductividad térmica del fluido por una nueva conductividad térmica, que en este caso sería representada por k^γ . Avances relacionados se presentarán en futuros trabajos.

LITERATURA CITADA

- AGRAWAL, O. P., TENREIRO MACHADO, J. A., y SABATIER, I. (eds.). *Fractional Derivatives and Their Applications*. Nonlinear Dynamics, 38. Berlin: Springer-Verlag, 2004.
- BALEANU, D., GÜNVENC, Z. B., y TENREIRO MACHADO, J. A. (eds.). *New Trends in Nanotechnology and Fractional Calculus Applications*. Springer, 2010.
- CAPUTO, M. y MAINARDI, F. A new dissipation model based on memory mechanism. *Pure and Applied Geophysics*, 91(8): 134-147, 1971.
- DORREGO, G. A. y CERUTTI, R. A. The k -Mittag-Leffler function. *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences*, 7(13-16): 705-716, 2012.
- GÓMEZ AGUILAR, J. F., ROSALES GARCÍA, J., BERNAL ALVARADO, J. J., CÓRDOVA FRAGA, T. y GUZMÁN CABRERA, R. Fractional mechanical oscillators. *Revista Mexicana de Física*, 58: 348-352, 2012.
- GÓMEZ AGUILAR, F., ROSALES GARCÍA, J., GUÍA CALDERÓN, M., y BERNAL ALVARADO, J. Analysis of Equivalent Circuits for Cells: A Fractional Calculus Approach. *Ingeniería, Investigación y Tecnología, UNAM*, XIII(3): 375-384, 2012.
- GÓMEZ, F., BERNAL, J., ROSALES, J., y CÓRDOVA, T. Modeling and Simulation of Equivalent Circuits in Description of Biological Systems-A Fractional Calculus Approach. *Journal of Electrical Bioimpedance*, 3: 2-11, 2012.
- GONZÁLEZ GAXIOLA, O. y SANTIAGO, J. A. An alpha-Mellin transform and some of its applications. *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences*, 7(45-48): 2353-2361, 2012.
- GUÍA, M., GÓMEZ, F., y ROSALES, J. Analysis on the Time and Frequency Domain for the RC Electric Circuit of Fractional Order. *Central European Journal of Physics*, 11(10): 1366-1371, Springer, 2013.

- HILFER, R. Applications of Fractional Calculus in Physics. Singapore: World Scientific, 2000.
- MAGIN, R. L. y OVADIA, M. Modeling the cardiac tissue electrode interface using fractional calculus. *Journal of Vibration and Control*, 14(9-10): 1431-1442, 2008.
- METZLER R. y KLAFTER, J. The Random Walk's Guide To Anomalous Diffusion: A Fractional Dynamics Approach. *Physics Reports*, 339(2000): 1-77, 2000.
- MONWHEA, J. The Mpemba effect: When can hot water freeze faster than cold? *American Journal of Physics*, 74(6): 514-522, 2006.
- OBEIDAT, A., GHARIBEH, M., AL-ALI, M., y ROUSAN, A. Evolution of a Current in a Resistor. *Fractional Calculus and Applied Analysis*, 14(2): 247-259, Springer, 2011.
- PETRAS, I. Fractional-Order Memristor-Based Chua's Circuit. *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Express Briefs*, 57(12): 975-979, 2010.
- PODLUBNY, I. Geometric and physical interpretation of fractional integration and fractional differentiation. *Fractional Calculus and Applied Analysis*, 5(4): 367-386, 2002.
- PODLUBNY, I. *The Laplace transform method for linear differential equations of the fractional order*. Technical Report. Kosice, Slovakia: Slovak Academy of Sciences, Institute of Experimental Physics, 1994.
- ROSALES, J. J., GUÍA, M., GÓMEZ, J. F. y TKACH, V. I. Fractional Electromagnetic Wave. *Discontinuity, Nonlinearity and Complexity*, 1(4): 325-335, 2012.
- TENREIRO MACHADO, J. A. A probabilistic interpretation of the fractional-order differentiation. *Fractional Calculus and Applied Analysis*, 6(1): 73-80, 2003.
- VELIEV, E. I. y ENGHETA, N. Fractional Curl Operator in Reflection Problems. 10th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory, Ukraine, Sept. 14-17, 2004.
- WEST, B. J., BOLOGNA, M., y GRIGOLINI, P. *Physics of Fractional Operators*. Berlin: Springer-Verlag, 2003.
- WYSS, W. The Fractional Diffusion Equations. *Journal of Mathematical Physics*, 27(11): 2782-2785, 1986.

De páginas electrónicas

- GUTIÉRREZ, R. E., ROSÁRIO, J. M., y TENREIRO MACHADO, J. T. Fractional Order Calculus: Basic Concepts and Engineering Applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010 Article ID. 375858, 19 pages. Hindawi Publishing Corporation. doi: 10.1155/2010/375858.
- KRISHNA, B. T. y REDDY, K. V. V. S. Active and Passive Realization of Fractance Device of Order $\frac{1}{2}$. *Active and Passive Electronic Components*, 2008(2008), Article ID 369421, 5 pages. De: <http://dx.doi.org/10.1155/2008/369421>

Análisis de proyectos de Programación Orientada a Objetos utilizando métricas de *software* como medio para determinar necesidades didácticas

Object-Oriented Programming project analysis with software metrics as a means to determine instructional needs

Ramón Ventura Roque Hernández^{1*}, Juan Manuel Salinas Escandón¹, Adán López Mendoza¹, Salvador Mota Martínez¹, Óscar Flores Rosales¹

Roque Hernández, R. V., Salinas Escandón, J. M., López Mendoza, A., Mota Martínez, S., Flores Rosales, O. Análisis de proyectos de Programación Orientada a Objetos utilizando métricas de *software* como medio para determinar necesidades didácticas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 61: 19-25, enero-abril 2014.

RESUMEN

El artículo presenta los resultados de un estudio cuyo objetivo es identificar si se requiere brindar un enfoque diferente a la enseñanza de la Programación Orientada a Objetos (POO) a los alumnos irregulares tomando como base las características de sus proyectos finales. Se hizo un estudio de las métricas de *software* en proyectos de 38 alumnos divididos en dos grupos: regulares e irregulares. Se utilizó una prueba estadística *t* para medir la diferencia de las métricas entre ambos grupos. Solamente el porcentaje de comentarios y el número de clases utilizadas tuvieron una diferencia significativa. El estudio concluye que no hay una diferencia importante entre las características de ambos grupos, por lo que no se requiere un enfoque diferente para impartir el curso de POO a alumnos irregulares.

Palabras clave: métricas de *software*, Programación Orientada a Objetos, enseñanza de la programación.
Keywords: software metrics, object oriented programming, programming teaching.

Recibido: 16 de junio de 2013, aceptado: 26 de febrero de 2014

¹ Facultad de Comercio, Administración y Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

* Autor para correspondencia: rvhernandez@uat.edu.mx

ABSTRACT

This paper presents the results of a study aimed at identifying if teaching object-oriented programming (OOP) to irregular students requires a different approach based on the characteristics of their final projects. A study of software metrics in 38 students' projects who were divided in two groups, regular and irregular was conducted. A statistical *t* test was used to measure the difference of the metrics between the groups. Only the percentage of comments and the number of classes had a significant difference. The study concludes that there is no significant difference between the characteristics of both groups, so a different approach in teaching the OOP course to irregular students is not required.

INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de determinar si los alumnos irregulares que cursan la materia de Programación Orientada a Objetos (POO) necesitan un enfoque de enseñanza diferente al de los alumnos regulares, se realizó un estudio para conocer las características de los proyectos de *software* que cada grupo de estudiantes es capaz de realizar. Se buscó establecer, con base en un proyecto final, si había diferencias estadísticas significativas entre los productos de los alumnos regulares y los productos de los alumnos irregulares.

Con ayuda del *software* Source Monitor (Campwood, 2013) se obtuvieron los valores para diferentes métricas aplicadas al trabajo de 38 estudiantes. Los valores obtenidos fueron analizados después con el *software* SPSS (Valderrey, 2010) para elaborar una estadística descriptiva de los proyectos presentados por cada grupo y determinar el nivel de significancia entre cada una de las métricas para ambos grupos utilizando una prueba *t*. De las métricas aplicadas (porcentaje de comentarios, número de archivos utilizados, líneas de código en el proyecto, sentencias, clases, métodos por clase, número de llamadas por método, sentencias por método, complejidad promedio, complejidad máxima, profundidad promedio y profundidad máxima), solamente el número de clases incorporadas en el proyecto y el porcentaje de comentarios resultaron significativas estadísticamente. Se consideraron estos resultados, se emitieron algunas recomendaciones y se concluyó que no existen diferencias importantes entre los proyectos presentados por alumnos regulares y los presentados por alumnos irregulares.

La justificación para realizar esta investigación surgió de la necesidad de proporcionar a los alumnos los medios más adecuados para acceder al contenido de la materia de POO. Los profesores percibían que el ritmo de trabajo de los grupos irregulares era más lento porque tardaban un poco más en cubrir los temas y los alumnos tenían más problemas para aprobar los exámenes, pero sabían que no podían omitir contenido ni prácticas para ganar tiempo. El porcentaje de alumnos reprobados en grupos con alumnos irregulares solía ser elevado; por ejemplo, en los años 2010 y 2011, en promedio casi el 50% de los alumnos en estos grupos reprobó el curso. En casos extremos se observó hasta un 67% de reprobación.

Por otra parte, se percibía que los alumnos de ambos grupos carecían de buenas prácticas de programación, ya que en muchos casos desarrollaban sus aplicaciones con un enfoque de prueba y error orientados más a la obtención de la funcionalidad inmediata que a una buena arquitectura interna. Si bien es cierto que el contenido temático de la materia de POO no es explícito en cuanto a las buenas prácticas que se deben cultivar entre los estudiantes, la caracterización de la asignatura indica que la materia debe proporcionar al estudiante

las competencias necesarias para abordar el estudio de cualquier lenguaje orientado a objetos, metodología de análisis y diseño orientado a objetos,

de los sistemas gestores de bases de datos y en general de cualquier materia basada en el modelo orientado a objetos,

al mismo tiempo que determina la competencia específica de "Diseñar e implementar objetos de programación que permitan resolver situaciones reales y de ingeniería". Con el objetivo de preparar al alumno para enfrentar estos escenarios complejos, durante el desarrollo del curso se abordan de manera complementaria temas que promueven las buenas prácticas como la modularización, el uso de patrones, la creación de librerías, la correcta documentación y la especificación de requerimientos y diseños con UML.

Sin embargo, no se sabía si a pesar de todo, los alumnos regulares e irregulares al final de un curso normal de POO eran capaces de producir *software* comparable en características; se necesitaba esta información para determinar si las estrategias didácticas que hasta ese momento eran iguales, deberían de cambiar.

Una búsqueda bibliográfica demostró que las percepciones de los maestros no eran infundadas, pues se trataba de una problemática que se presentaba recurrentemente con grupos de programación y que podía ser abordada como un problema de investigación. Conforme a Cardell (2011), la evidencia documentada por diversos estudios sugiere que existe un pobre desempeño de aprendizaje en los cursos de programación para principiantes; sin embargo, los métodos para medir la habilidad para generar *software* todavía son un problema de investigación. Habría que considerar dentro de la problemática anterior que en el desarrollo de proyectos de programación en un ambiente escolar, el tamaño y complejidad de los proyectos difiere notablemente de los de un profesional de la industria. Conforme a esto, se debería involucrar a los estudiantes en proyectos más amplios y complejos con la finalidad de que obtengan experiencia relevante que les será necesaria cuando egresen y se integren a la industria del *software* (Clark, 2005).

Frentiu, Laza y Horia (2003) consideran que un proyecto pequeño desarrollado por estudiantes contiene al menos unos cientos de sentencias y otros más podrían llegar a 3000. Ellos proponen entre otras, las siguientes métricas de *software* para analizar estos proyectos: líneas de código, número de comentarios, número de clases, número de métodos

para todas las clases, promedio de métodos por clase y profundidad de herencia. Afirman que los estudiantes son escépticos a desarrollar un buen estilo de programación, no les gusta escribir comentarios, realizar un buen diseño o implementar algoritmos en pseudocódigo; se conforman con que el programa “funcione”.

Además de lo antes expuesto, Edwards (2004) menciona que existe una diferencia en cuanto al enfoque metodológico para resolver un problema, ya que los estudiantes de Ciencias de la Computación o Informática utilizan en su mayoría el ensayo y error como herramienta de uso cotidiano para arreglar y depurar código—que para fines de aprendizaje de un lenguaje de programación podría ser adecuado—, sin embargo, tienden a utilizarlo por demasiado tiempo. Conforme a Cardell (2011), si se toma en consideración que los cursos de programación para estudiantes que inician tienen dos características importantes como resultado del aprendizaje: una de ellas es la habilidad para comprender el código de programación y otra es la habilidad para escribir código de programación, queda pendiente dentro de la investigación en esta área cómo medir esas características.

Para la presente investigación se tomaron las métricas de los proyectos finales de los alumnos como indicadores del trabajo que ellos son capaces de realizar. Las métricas para este estudio se eligieron porque representan conceptos y buenas prácticas que se abordaron durante las sesiones del curso, además de que en la literatura existen antecedentes que las refieren (Cardell, 2011). Estas métricas están basadas en atributos físicos del código de programa y proporcionan una medida cuantitativa útil para evaluar las características del *software*. Aunque se pudieron incorporar otras métricas como los puntos de función *-function points-* (Durán, 2003), este estudio no las consideró desde un principio porque se deseaba enfatizar las características técnicas internas y estructurales del código de los proyectos, ya que el contenido del curso está centrado en la perspectiva arquitectónica del *software* que el estudiante desarrolla. Por otra parte, los alumnos al término del curso desconocen aún la metodología para trabajar con puntos de función.

Una diferencia significativa en las métricas de los dos grupos analizados indicaría que los alumnos regulares e irregulares aplican los conceptos de la materia en distinta medida y podrían necesitar enfoques distintos

al momento de abordar los contenidos de la materia para enfatizar unos aspectos más que otros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se analizaron 38 proyectos de *software*, los cuales fueron entregados por los alumnos del curso Programación Orientada a Objetos como parte de su trabajo final. El curso proporciona un panorama introductorio a la POO con C# (Gaddis, 2013) con temas que abordan: 1) historia y generalidades del paradigma, 2) conceptos básicos (clases, objetos, atributos, métodos, constructores, destructores, sobrecarga), 3) herencia, 4) polimorfismo y 5) acceso a datos. Para el final de cada curso, todos estos temas fueron abordados en la misma profundidad y con ejemplos y prácticas iguales. El profesor encargado de conducir a todos los alumnos durante el curso fue siempre el mismo.

En el estudio realizado se clasificaron como “alumnos regulares” aquéllos que no han cursado la materia anteriormente ni han reprobado alguna de las asignaturas previas requisito para poder cursar POO. De esta manera, un “alumno irregular” es aquel que, o bien, ya cursó POO (y no la aprobó), o bien, es la primera vez que cursa POO, pero ha reprobado un prerrequisito de esta materia en semestres anteriores.

Todos los alumnos tuvieron 1½ semanas para desarrollar un proyecto final libre: cada estudiante decidió el área de aplicación y los detalles de la interfaz gráfica. Durante ese tiempo, hubo revisiones y asesorías periódicas con cada uno. Cuando se fijó la fecha de entrega, los alumnos habían desarrollado ya durante las sesiones de clase un proyecto sencillo con las funciones básicas de acceso a datos como: altas, bajas, consultas y listados mediante una arquitectura por capas orientada a objetos. Para la implementación de la base de datos en el proyecto final se utilizó Microsoft Access y se pidió incorporar por lo menos una tabla con cuatro campos con diferentes tipos de datos, también se solicitó incluir todas las funciones básicas de acceso a datos que durante las sesiones del curso se habían estudiado. En el proyecto se debía utilizar un enfoque orientado a objetos y una arquitectura de capas (presentación, objetos de negocio, acceso a datos). No hubo una restricción en cuanto al número de clases, al número de líneas de código utilizadas en el proyecto, o a alguna otra de las métricas utilizadas en esta investigación.



Figura 1. Programación Orientada a Objetos utilizando métricas de software.
Imagen de Juan Manuel Salinas Escandón.

Los alumnos realizaron una especificación funcional de requerimientos con UML, un manual técnico y un manual de usuario para su proyecto. Todo esto fue entregado como documentación anexa a su trabajo final. Para ser considerados en el presente estudio, los proyectos debieron satisfacer en su implementación al menos el 70% de los requisitos funcionales plasmados en la especificación.

Los 38 proyectos finales se analizaron con el *software* SourceMonitor para obtener los valores de las métricas para cada uno. SourceMonitor calcula valores a nivel proyecto y a nivel archivo. Para este trabajo se utilizaron los valores del proyecto completo, que en algunos casos representan medias aritméticas de las métricas aplicadas a unidades de menor nivel como lo son los métodos o sentencias en todo el proyecto. Las métricas que se analizaron en este estudio son definidas por el *software* SourceMonitor de la siguiente manera:

Número de líneas de código. Las líneas de código (*lines of code*, LOC) representan el número de líneas físicas en el proyecto, mientras que las líneas efectivas de código (*effective lines of code*, eLOC) ignoran los comentarios. Una métrica similar es el número de sentencias (*number of commands*, NOC), que cuentan el número de sentencias, son fáciles de computar y poseen correlación con métricas más complejas (Porkoláb y Sillye, 2004).

Número de sentencias. Esta métrica define una sentencia como aquéllas finalizadas por punto y coma (;). También son contados: 1) las ramificaciones tales

como *if*, *for* y *while*, 2) los métodos y los atributos, 3) las sentencias de control de excepción tales como *try*, *catch* y *finally*, 4) las directivas de preprocesamiento como *#define* y *#undef*. Todas las demás directivas de preprocesador son ignoradas.

Porcentaje de líneas comentadas. Es el porcentaje de líneas comentadas que utilizan el estilo C (*/*...*/*) o el estilo C++ (*//...*). Kuipers, Heitlager y Visser (2007) mencionan que la importancia de líneas comentadas como métrica reside en la noción lógica de que una sección de código bien documentada es más fácil de mantener que una sección de código sin documentar; el índice de mantenimiento de Oman y Hagemester (*Maintainability Index*) la considera opcional. Para este estudio se tomó en cuenta el porcentaje de líneas comentadas ignorando los comentarios de los encabezados y pies de página.

Porcentaje de líneas de documentación. Es el resultado de contabilizar las líneas que contienen documentación cuando son indicadas por *///* al inicio de una línea y relacionarlas con el número de líneas en el proyecto.

Número de clases, interfaces, estructuras. Esta métrica contabiliza todas las clases, interfaces y estructuras definidas en un proyecto. En el caso especial de las clases parciales, cada una se contabiliza separadamente en cada archivo donde reside.

Número de archivos utilizados. Se refiere al número de archivos con extensión ".cs" contenidos en el proyecto. Se toman en cuenta únicamente los archivos creados explícitamente por el alumno y se omiten los archivos que son auto generados por la herramienta de desarrollo.

Número de métodos por clase. Esta métrica es un promedio general de los métodos en clases, interfaces y estructuras en un proyecto. Se obtiene dividiendo el número total de métodos entre el número total de clases, interfaces y estructuras.

Número de llamadas por método. Esta métrica se obtiene dividiendo el número total de llamadas a otros métodos dentro de un proyecto entre el número de métodos en ese proyecto.

Número de sentencias por método. Se obtiene dividiendo el número total de sentencias dentro de todos los métodos del proyecto entre el número de métodos de ese proyecto.

Complejidad. Esta métrica registra el número de rutas de ejecución en un método o función. Cada método o función tiene una complejidad de 1 + 1 por cada rama en las sentencias *if*, *else*, *for*, *foreach*, *while*. Las sentencias conocidas como “*if* aritméticos” (prueba? valorVerdadero : valorFalso) incrementan 1 a la complejidad total. También cada operador “&&” y “||” agrega 1 a la cuenta. Cada sentencia *catch* o *except* dentro de un bloque *try* incrementan en uno la complejidad del proyecto; sin embargo, las sentencias *try* o *finally* no modifican ese valor. Para este estudio, se utilizó la complejidad modificada, la cual consiste en agregar 1 a la cuenta de complejidad por cada sentencia *switch* e ignorar para este conteo las sentencias *case*.

Complejidad máxima. Es el valor de complejidad más grande que se observó en los métodos del proyecto.

Complejidad promedio. Se calcula con el promedio aritmético de todos los valores de complejidad de los métodos o funciones del proyecto.

Profundidad. Se refiere a la colocación de bloques de código dentro de otros, lo que da lugar a bloques anidados; éstos se introducen principalmente con las sentencias de control como “*if*” y “*while*”. Conforme se aumenta la profundidad, el código resulta más difícil de leer porque con cada nuevo nivel de anidamiento se deben evaluar más condiciones para saber el momento en el que el código será ejecutado.

Profundidad máxima. Se refiere al mayor nivel de anidamiento registrado en el proyecto.

Profundidad promedio. Es el promedio ponderado de la profundidad de bloques de código anidados en un proyecto.

Durante el análisis, SourceMonitor fue configurado para: 1) utilizar métricas para el lenguaje C#, 2) analizar únicamente los archivos con extensión “.cs” que el alumno codificó directamente (como clases y formularios excluyendo el código autogenerado por la herramienta de desarrollo), 3) usar la métrica de complejidad modificada en lugar de la complejidad tradicional, la cual trata las sentencias *switch* de manera diferente como se explica en la definición de esta métrica, 4) ignorar los comentarios y documentación de cabecera y pie de página, si existieran.

Una vez que se obtuvieron los valores de las métricas para cada proyecto, se utilizó el software SPSS para registrarlos y analizarlos categorizados en dos grupos: alumnos regulares (REG) y alumnos irregulares (IRREG), de acuerdo a los criterios expuestos previamente.

RESULTADOS

Como producto del análisis, primero se obtuvo la estadística descriptiva mostrada en la Tabla 1, en donde se observa cada métrica y los datos de cada grupo: el número de alumnos incluidos, la media aritmética del valor de esa métrica, la desviación estándar y el error estándar de la media.

Con el software SPSS también se realizó una prueba *t* para la comparación de ambos grupos. El resultado se presenta en la Tabla 2, en donde se destaca el nombre de dos métricas con un asterisco (*): porcentaje de comentarios y número de clases en el proyecto; los valores de ambas resultaron significativamente diferentes entre los alumnos regulares e irregulares. El resto de las métricas analizadas no tuvieron una diferencia estadística significativa entre ambos grupos.

Tabla 1. Estadística descriptiva de los grupos

	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Error estándar de la media
Archivos	REG	27	6.96	2.87	.55
	IRREG	11	5.09	1.92	.57
Líneas de código	REG	27	538.46	271.64	52.27
	IRREG	11	412.27	181.93	54.85
Sentencias	REG	27	313.74	138.80	26.71
	IRREG	11	230.18	94.45	28.47
% Comentarios	REG	27	3.27	2.66	.51
	IRREG	11	1.35	1.45	.43
% Documentación	REG	27	.01	.05	.01
	IRREG	11	.00	.00	.00
Clases	REG	27	6.96	2.87	.55
	IRREG	11	4.91	1.92	.57
Métodos por clase	REG	27	8.26	1.21	.23
	IRREG	11	7.95	1.36	.41
Llamadas por método	REG	27	2.02	.56	.10
	IRREG	11	1.92	.58	.17
Sentencias por método	REG	27	3.86	1.67	.32
	IRREG	11	3.42	.73	.22
Complejidad máxima	REG	27	6.11	6.82	1.31
	IRREG	11	4.00	2.14	.64
Profundidad máxima	REG	27	4.67	1.10	.21
	IRREG	11	4.27	.64	.19
Profundidad promedio	REG	27	1.94	.42	.08
	IRREG	11	1.79	.20	.06
Complejidad promedio	REG	27	1.46	.14	.02
	IRREG	11	1.40	.17	.05

Resumen estadístico de las métricas analizadas con el software SPSS.

Tabla 2. Prueba estadística de comparación de grupos

	Prueba t para la igualdad de medias						
	t	Grados de libertad	Sig. (2-colas)	Diferencia de medias	Error estándar de la diferencia	Intervalo de confianza de la diferencia (95%)	
						Inferior	Superior
Archivos	1.97	36	.05	1.87	.94	-.04	3.79
Líneas de código	1.41	36	.16	126.19	89.41	-55.14	307.53
Sentencias	1.82	36	.07	83.55	45.79	-9.32	176.44
% Comentarios*	2.85	32.571	.00	1.92	.67	.55	3.29
% Documentación	.63	36	.53	.01	.01	-.02	.04
Clases*	2.17	36	.03	2.05	.94	.13	3.97
Métodos por clase	.69	36	.49	.31	.44	-.60	1.22
Llamadas por método	.46	36	.64	.09	.20	-.32	.50
Sentencias por método	.83	36	.40	.44	.52	-.62	1.50
Complejidad máxima	.99	36	.32	2.11	2.11	-2.17	6.39
Profundidad máxima	1.09	36	.27	.39	.35	-.33	1.12
Profundidad promedio	1.13	36	.26	.15	.13	-.12	.42
Complejidad promedio	1.09	36	.28	.06	.05	-.05	.17

Resultados obtenidos de la prueba estadística de comparación de grupos realizada con el software SPSS.

DISCUSIÓN

En los resultados obtenidos en este estudio destaca el hecho de que los alumnos irregulares utilizaron menos clases en sus proyectos que los alumnos regulares. Sin embargo, los alumnos regulares también incorporaron pocas clases en sus proyectos. En ambos grupos se recomienda enfatizar los primeros temas del programa de la materia, en especial los relacionados con "clases" y "abstracción"; con esta iniciativa se busca que los alumnos fortalezcan su capacidad para identificar candidatos para convertirse en clases en los problemas planteados y puedan realizar tantas abstracciones como sean necesarias. Asimismo, el tema de "varios formularios en un proyecto", si bien no es parte de la materia de POO en su estado más puro, es imprescindible para el desarrollo de los proyectos finales de la materia y debe tener también una atención especial pues impacta en la métrica que contabiliza el número de clases.

Por otra parte, tanto en alumnos regulares como en alumnos irregulares, el uso de los comentarios y la documentación interna de los programas fue muy pobre, esto confirmó lo encontrado previamente en Frentiu *et al.* (2003). Se recomienda, durante la clase, poner en relieve la importancia del uso de

comentarios y documentación en el código fuente con el propósito de concientizar a los estudiantes para que escriban código de fácil lectura, entendimiento y mantenimiento.

CONCLUSIONES

En este artículo se reportó un experimento basado en métricas de *software* para determinar si los alumnos irregulares necesitan un enfoque diferente de enseñanza al de los alumnos regulares en Programación Orientada a Objetos. Sus trabajos finales se tomaron como evidencia y fueron analizados y comparados. Se obtuvo como resultado que de las 13 métricas calculadas, solamente 2 resultaron con diferencia estadística significativa: porcentaje de comentarios y número de clases utilizadas en el proyecto. Sin embargo, se observó que en ambos grupos el número de clases pudo ser mayor por las características del proyecto solicitado y que el porcentaje de comentarios fue muy bajo. Se concluye que, con base en las métricas aplicadas a los proyectos realizados por los alumnos, no hay suficiente evidencia para concluir que el enfoque de enseñanza deba ser diferente para los alumnos regulares que para los irregulares; sin embargo, sí deberían tomarse en cuenta algunas

recomendaciones para ambos grupos: 1) enfatizar los temas de "clases" y "abstracción", 2) motivar a los alumnos a considerar el uso de varios formularios en un proyecto y 3) subrayar la importancia de escribir código de fácil entendimiento mediante el uso de comentarios y documentación interna.

Es importante considerar que la investigación realizada centra su análisis únicamente en las métricas de *software* de los proyectos finales de los estudiantes. Aunque se mantuvieron constantes las condiciones de cátedra, los temas abordados, las prácticas realizadas, las características solicitadas para el proyecto y el profesor conductor del curso, podrían existir factores particulares de los estudiantes, del profesor o del entorno que pudieran influir en las

características de los proyectos entregados. El estudio mostrado en este artículo representa un trabajo en estado inicial. Como trabajo futuro se plantea repetir la investigación con otros grupos para aumentar la validación de los resultados y considerar el grado de generalización de los mismos, aplicar otras métricas para determinar si hay diferencias significativas entre ambos grupos y conducir entrevistas con los participantes de los experimentos para registrar sus experiencias en el desarrollo del proyecto. También resultaría relevante comparar los resultados de este estudio con aquéllos obtenidos cuando todos los alumnos desarrollen un mismo proyecto con características determinadas completamente por el profesor.

LITERATURA CITADA

- CARDELL, R. How can software metrics help novice programmers? *13th Australasian Computing Education Conference*, Vol. 114, 55-62, 2011.
- CLARK, N. Evaluating student teams developing unique industry projects. *Australasian Conference on Computing Education Conference*, Vol. 42, 21-30, 2005.
- DURÁN, S. Puntos por Función. Una métrica estándar para establecer el tamaño del software. *Boletín de política informática*, XXVII(6): 41-52, 2003.
- EDWARDS, S. Using Software Testing to Move Students from Trial-and-Error to Reflection-in-Action, *SIGCSE 04 Proceedings of the 35th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*, 26-30, 2004.
- FRENTIU, M., LAZA, I., y HORIA, F. On individual projects in software engineering Education. *Revista Studia Univ. Babeş Bolyai, Informatica*, XLVIII(2): 83-94, 2003.
- GADDIS, T. *Starting out with Visual C# 2012*. (3ª ed.). EE UU: Addison-Wesley, 2013.
- KUIPERS, T., HEITLAGER, I., y VISSER, J. A Practical Model for Measuring Maintainability. *6th International Conference on the QUATIC 07 (Quality of Information and Communications Technology)*, 30-39, 2007.
- PORKOLÁB, Z. y SILLYE, A. Comparison of Object-Oriented and Paradigm Independent Software Complexity Metrics. *6th International Conference on Applied Informatics*, 435-444, 2004.
- VALDERREY, P. *SPSS 17 Extracción del conocimiento a partir del análisis de datos*. México: Alfaomega, 2010.

De páginas electrónicas

- CAMPWOOD. Campwood Software. De: <http://www.campwoodsw.com/sourcemonitor.html>, 1 jun. 2013.

Estudio de la fluencia térmica de PET reciclado utilizando el proceso de termoformado

Study of thermal fluency of recycled PET using the thermoforming process

Carlos Sánchez López^{1*}, Carlos Humberto Saucedo Zárate¹,
Mario Salvador Esparza González¹, Luis Antonio Castañeda Ramos²

Sánchez López, C., Saucedo Zárate, C. H., Esparza González, M. S., Castañeda Ramos, L. A.,
Estudio de la fluencia térmica de PET reciclado utilizando el proceso de termoformado.
Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Número 61: 26-32,
enero-abril 2014.

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados obtenidos al analizar el comportamiento de la fluencia térmica o *creep* de Politereftalato de etileno reciclado, comúnmente conocido como PET, obtenido a partir de envases de refrescos o de agua. El estudio se realizó a través de 60 muestras de cinco tipos de envases, en presentaciones tipo hoja de 100 x 100 mm y 1.5 mm de espesor. Para visualizar el comportamiento de fluencia térmica se recurrió al uso del proceso de termoformado por gravedad. De los datos obtenidos se reportan aquellos que corresponden a deflexiones de 25, 30 y 40 mm. Los resultados permitieron identificar un comportamiento estable en deflexiones de 25 mm, en temperaturas en el rango de 135°C a 176°C, lo que evita la vitrificación del material. Dichas temperaturas se han utilizado en la caracterización técnica del prototipo de una extrusora para PET reciclado.

Palabras clave: PET, reciclado, fluencia térmica, temperatura, termoformado, extrusión.

Keywords: PET, recycling, thermal creep, temperature, thermoforming, extrusion.

Recibido: 16 de abril de 2013, aceptado: 26 de febrero de 2014

¹ Departamento de Metal Mecánica, Instituto Tecnológico de Aguascalientes.

² Departamento de Eléctrica y Electrónica, Instituto Tecnológico de Aguascalientes.

* Autor para correspondencia: drcarlossl@yahoo.com

ABSTRACT

This work presents the results obtained by analyzing the behavior of thermal fluency of recycled polyethylene terephthalate, commonly known as PET, obtained from base plates of soft drinks or water. The study was conducted through 60 samples of five types of base plates, in presentations type sheet 100 x 100 mm and 1.5 mm thick. To visualize the behavior of thermal fluency it resorted to the use of the thermoforming process by gravity. From the data, those corresponding to deflections of 25, 30 and 40 mm are reported. The results allowed identifying a stable behavior in deflections of 25 mm, at temperatures from 135°C to 176°C, avoiding the vitrification of the material. These temperatures have been used in the technical characterization of the prototype of an extruder for recycled PET.

INTRODUCCIÓN

Sánchez López et al. (2012) reportaron que en el Instituto Tecnológico de Aguascalientes se ha estado trabajando en la Caracterización del Proceso de Extrusión de PET Reciclado. Para tal efecto se requirió diseñar y construir una máquina extrusora. La conceptualización de la extrusora se basó en la caracterización de los parámetros del proceso de extrusión del PET reciclado, en donde se identificó que uno de los principales parámetros es la fluencia térmica del material, ya que influye directamente en el tiempo, la velocidad y la presión de extrusión.

Cormenzana (2001) identifica que durante el proceso de extrusión de polímeros se hace patente la fluencia debido al cambio de temperatura que afecta directamente la densidad del material y como consecuencia se tiene un problema dentro del contexto de la dinámica del fluido, en donde se requiere conocer el comportamiento viscoelástico no lineal del polímero.

Meissner y Hostettler (1994), así como Arteaga y Raymonde (2007) establecen que el comportamiento reológico de los polímeros implica altas tasas de deformación, tanto en flujos cortantes como en flujos elongacionales, lo que ha permitido desarrollar diversas técnicas para determinar la viscosidad elongacional en los polímeros.

Hieber y Chang (1993) utilizaron un molde en espiral para el estudio de la reología de los polímeros, y analizaron la influencia de la variación de la densidad del material, controlando la presión y la temperatura del proceso.

Rao, Schumacher y Chuang (1999) desarrollaron un método semiempírico para predecir la longitud del flujo en diferentes polímeros. Asumen flujo no newtoniano en función de la viscosidad y la temperatura.

Ponz (2008) cita que Léonardi F. utiliza una extrusora controlando la temperatura, la presión y la velocidad de extrusión. En un mismo ensayo pudo caracterizar el material bajo distintas condiciones de proceso, con el objetivo de relacionar la velocidad del proceso con el caudal extruido.

Bourgin, Cormeau y Saint-Martin (1995) desarrollaron un código para mejorar el entendimiento del proceso de termoformado de hojas de plástico, basado en las leyes constitutivas de materiales poliméricos bajo grandes deformaciones, asumiendo que las propiedades mecánicas son dependientes de su comportamiento viscoelástico y de la temperatura por encima de la recristalización.

Aus der Wiesche (2004) presenta las ecuaciones que gobiernan la distribución de temperatura en hojas de plástico. Asimismo, el flujo del calor por convección se modela mediante la condición de Newton en función del coeficiente de transferencia por convección y la diferencia de temperaturas del medio ambiente y de la hoja de plástico, y de forma análoga en la transferencia por conductividad.

Thomann y Ermanni (2004) utilizan un enfoque micromecánico para representar la curva del flujo de materiales compuestos de fibra alineada discontinua unidireccional. El modelo es validado a través de mediciones de la curva del flujo de compuestos de poly(lauro lactam) de fibra de carbono.

Al-Haik M et al. (2001) investigaron, en un polímero compuesto, las propiedades viscoplásticas en función de la mayor temperatura del proceso. Utilizando carga variable y datos de fluencia térmica obtuvieron la dependencia entre las propiedades viscoplásticas y el tiempo. Su modelo es capaz de predecir el comportamiento de fluencia térmica en periodos cortos y a bajas temperaturas.

Briody, Duignan, Jerrams y Ronan (2012) compilan resultados de la prueba de compresión bajo tensiones de fluencia idénticas, en un rango de temperaturas realizadas en una espuma de poliuretano flexible. Las curvas de fluencia obtenidas de estas pruebas fueron cambiadas a lo largo de la escala de tiempo por un factor que correspondió a una temperatura de prueba individual. El factor de desplazamiento a cualquier temperatura relaciona el tiempo para un proceso de flujo viscoelástico y el tiempo para el mismo proceso a una temperatura de referencia.

Lechat, Bunsell y Davies (2011) compararon el comportamiento mecánico entre fibras de Tereftalato de polietileno (PET) y de Neftalato de polietileno (PEN). Concentraron su atención en el comportamiento de fluencia del material sometido a condiciones de tensión. Para ambos materiales, la tasa de fluencia es bastante baja y pareciera ser dependiente de la carga aplicada, por lo que se concluye que dicha dependencia no es lineal. La tasa de fluencia la determinaron ajustando las curvas con una función logarítmica.

Pegoretti, Kolarik y Slouf (2009) investigaron la fluencia a la tensión en Tereftalato de polietileno reciclado (rPET), así como en sus compuestos binarios y ternarios que contienen fibras de vidrio cortas o modificadores de impacto. Los cambios de resistencia a la tracción se realizaron mediante el uso de un aparato experimental casero equipado con un amplificador de tensión mecánica. Basaron su estudio en que la fluencia es función del tiempo, el esfuerzo y la temperatura. La tasa de fluencia, que era generalmente muy pequeña en todas las pruebas, fue ligeramente reducida en el compuesto con fibras

de vidrio cortas y aumentó con el compuesto de modificadores de impacto.

Flores, Balta Calleja y Asano (2001) observaron el comportamiento a la fluencia y las propiedades elásticas en películas de Tereftalato de polietileno estirado en frío, recocidas en el rango de 60°C a 240°C. Fueron investigadas por medio de pruebas de microindentación. El comportamiento de fluencia aparece íntimamente correlacionado a los cambios que ocurren en la nanoestructural del material recocido. El estudio revela que el material sin tratamiento fluye a velocidades más altas, por lo cual la tasa de fluencia tiende a disminuir con el aumento del espesor de las laminillas. Este hallazgo sugiere que el flujo viscoplástico del PET estirado en frío disminuye con el aumento del orden estructural del material, lo que es un estado precursor de cristalización.

Con base en las especificaciones del proyecto de investigación "Caracterización del Proceso de Extrusión de PET Reciclado", presentado por Sánchez et al. (2011), se identifica el requerimiento de conocer la temperatura del proceso de extrusión que demande la menor cantidad de presión de extrusión, manteniendo la velocidad constante.

Si se considera que la fluencia térmica de los materiales es un proceso de deformación a carga constante que depende principalmente del cambio de temperatura, se considera factible su uso para identificar el rango de temperatura del proceso para la extrusión del PET reciclado previamente citada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El método utilizado es de tipo experimental, con recolección de datos en laboratorio. El material utilizado como materia prima es PET reciclado obtenido a partir de envases de refresco o de agua. En la Figura 1 se observa la geometría de las muestras de estudio, para lo cual se prepararon 60 muestras en forma de hojas de 100 x 100 mm y 1.5 mm de espesor. Las muestras se sometieron a las condiciones requeridas aprovechando las ventajas que ofrece el proceso de termoformado por gravedad.

Los experimentos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Mecánica del Departamento de Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de Aguascalientes mediante una máquina para termoformado de cama plana con capacidad para termoformar hojas de tamaño A4, mediante sujeción por presión.



Figura 1. Geometría de las muestras de PET.

En la Figura 2 se observa la máquina de termoformado por gravedad utilizada en la experimentación. La temperatura se obtiene a través de resistencias eléctricas, con una fuente de 120 V a 900 W, y puede ser controlada mediante el uso de un potenciómetro con capacidad hasta de 500°C.

Las pruebas se realizaron con 60 muestras en las cuales no se aplicó tal cual el proceso de termoformado; es decir, únicamente se utilizó la termoformadora para elevar la temperatura de las muestras de PET reciclado y procesarlas en el rango de 110°C a 198°C para evitar la vitrificación del material, ya que afecta sus propiedades mecánicas y de



Figura 2. Equipo utilizado en la experimentación.

proceso. En este rango de temperaturas se aprecia con mucha claridad el efecto de fluencia térmica por gravedad, lo cual garantiza tener controlada la presión de trabajo.

Los datos se obtuvieron suponiendo presión constante, ya que la fuerza aplicada fue la correspondiente al efecto gravitacional; sin embargo, dimensionalmente las muestras pueden cambiar en la sección transversal. Todas las pruebas se realizaron a temperatura ambiente de laboratorio en el rango de 20°C a 27°C.

RESULTADOS

En los experimentos se registró la temperatura de inicio de la prueba, llamada temperatura ambiente; la temperatura a la que se estudia el termoformado por gravedad del material, denominada temperatura de proceso; el tiempo de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de proceso; el tiempo de enfriamiento de las muestras del PET reciclado; y el principal parámetro el alargamiento o deflexión, debido a la fluencia térmica del material por efecto de la temperatura y de la gravedad. Con la finalidad de proporcionar información que incluye los valores de la deflexión bajo estudio, de las 60 muestras estudiadas, en la Tabla 1 solamente se presenta una muestra de cinco de los resultados obtenidos.

En la Figura 3 se presentan algunas muestras deformadas mediante el uso del termoformado. La geometría obedece a que durante la etapa de enfriamiento se colocó sobre un molde similar a un prisma rectangular. Esta geometría se usa por la presencia de los ángulos rectos entre las caras –que son críticos en el proceso de termoformado–, y los resultados que de ahí se derivan permiten garantizar un buen proceso en otras geometrías más simples.



Figura 3. Algunas de las muestras deformadas por la fluencia térmica.

Tabla 1. Ejemplo de los datos recolectados durante la fase de experimentación

Prueba	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de proceso (°C)	Tiempo de calentamiento (seg)	Tiempo de enfriamiento (seg)	Deflexión (mm)
21	22	117	206	19	30
20	22	122	217	18	25
8	25	123	190	19	30
6	25	124	244	21	45
9	26	126	205	20	35

En las Figuras 4, 5 y 6 se presentan los resultados correspondientes a deflexiones de 25, 30 y 40 mm, ya que están en el rango de las deflexiones que permiten desarrollar el proceso obteniendo resultados aceptables en cuanto a tiempo y temperatura. En dichas figuras se observa el comportamiento de la temperatura para obtener el flujo térmico por gravedad en conjunto con el tiempo necesario para que se presente dicho efecto. Mediante análisis de dispersión se obtienen las ecuaciones 1, 2 y 3, que representan la proporcionalidad en la variación de la temperatura de proceso en función del tiempo para alcanzar la temperatura de proceso.

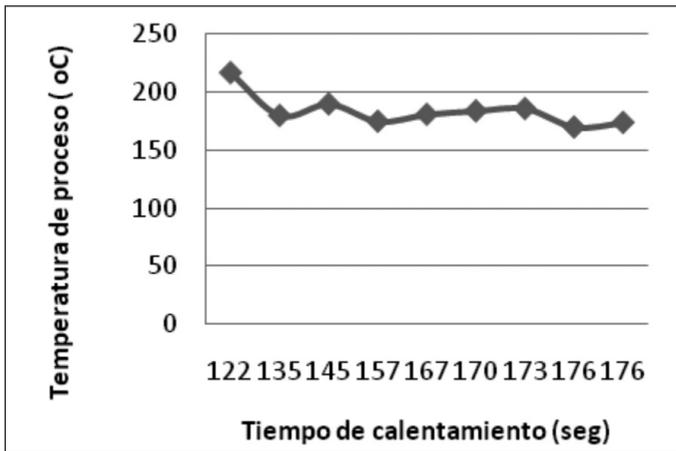


Figura 4. Relación Temperatura - tiempo (T-t) en flexiones de 25 mm.

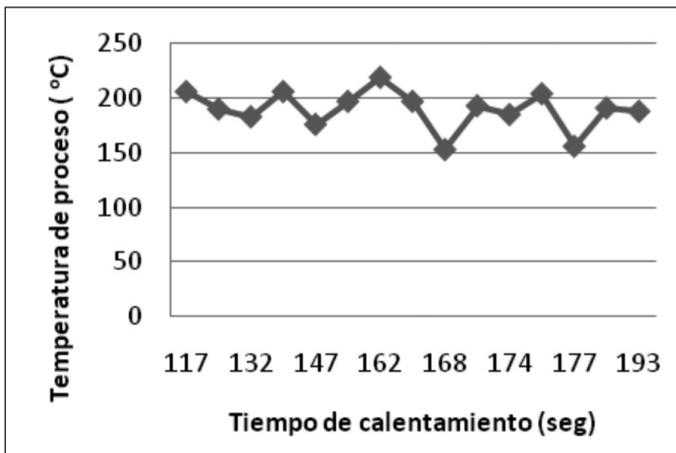


Figura 5. Relación Temperatura - tiempo (T-t) en flexiones de 30 mm.

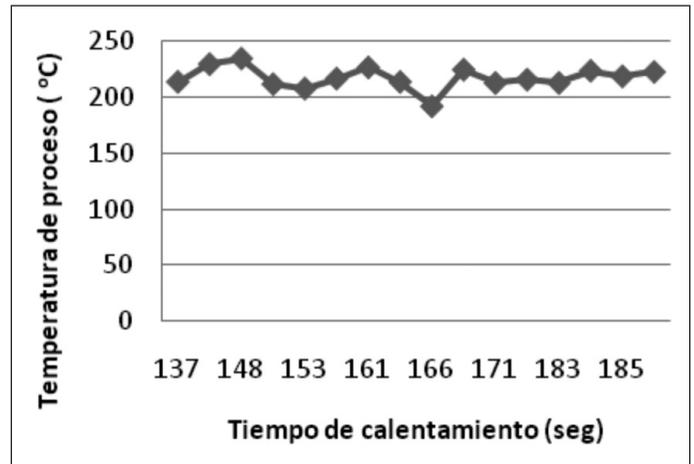


Figura 6. Relación Temperatura - tiempo (T-t) en flexiones de 40 mm.

$$T_{(25\text{ mm})} = (-0.5153) t + 265.48 \quad 1$$

$$T_{(30\text{ mm})} = (-0.1835) t + 218.7 \quad 2$$

$$T_{(40\text{ mm})} = (-0.0297) t + 222.52 \quad 3$$

Las ecuaciones 1, 2 y 3 son una aproximación de primer orden o lineal, lo cual no se puede valorar todavía y se validará en la siguiente etapa de la investigación.

En la Figura 7 a) se presenta la relación de los valores promedio de los resultados obtenidos en cada experimento, entre la temperatura de proceso del PET reciclado y las elongaciones o deflexiones de 25, 30, 35, 40 y 45 mm. Asimismo, en la Figura 7 b) se presenta la relación entre el tiempo para alcanzar la temperatura de proceso del PET reciclado y las elongaciones o deflexiones.

DISCUSIÓN

El análisis de dispersión de los resultados obtenidos, según las Figuras 4, 5, y 6, permite obtener las ecuaciones 1, 2 y 3, las cuales sirven como referencia para complementar el estudio mediante simulación.

En lo que respecta a los valores promedio de las temperaturas de proceso, en la Figura 7 se puede observar que las deflexiones estudiadas se obtienen

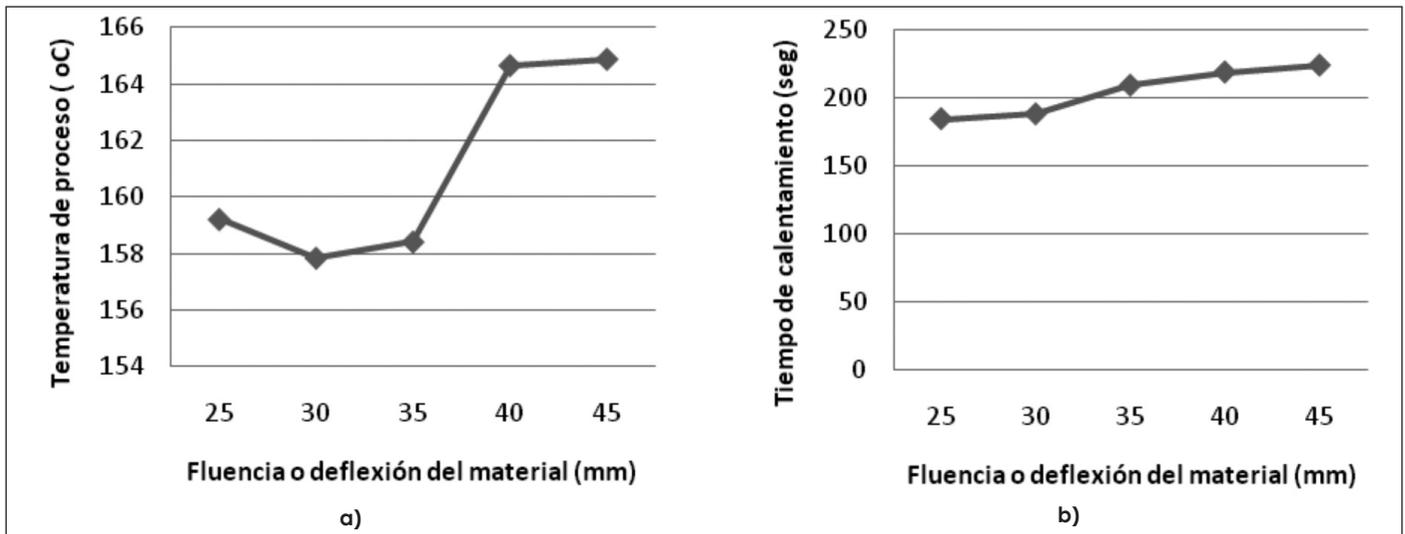


Figura 7. a) Relación promedio entre la temperatura de proceso y la fluencia del material. **b)** Relación promedio entre el tiempo de calentamiento y la fluencia del material.

en el rango de temperatura de 110°C a 198°C, lo que evita la vitrificación del material. También se observa que el incremento de la deflexión conlleva el incremento del tiempo para lograr cada deflexión. Se corrobora que de manera general para una determinada temperatura la deflexión es proporcional al tiempo de proceso; mientras que para diferentes temperaturas de proceso, a mayor temperatura de proceso, menor será el tiempo correspondiente.

CONCLUSIONES

Con base en que la deflexión requerida se puede obtener a diferentes temperaturas, es recomendable utilizar aquella que se encuentre más alejada de la temperatura de vitrificación del polímero para evitar modificar las propiedades mecánicas del material. Lo anterior se logra para deflexiones de 25 mm en el rango de 135°C a 176°C; para deflexiones de 30 mm el rango de temperatura recomendable es de 168°C a 193°C; mientras que para las deflexiones de 40 mm, los resultados obtenidos conllevan la posible vitrificación del material.

Los resultados obtenidos con las ecuaciones 1, 2 y 3 se consideran preliminares, ya que se ajustaron a un comportamiento lineal y su uso sólo se recomienda para la obtención de datos preliminares, así como una posible estrategia en la reducción del costo que demanda la parte experimental.

A la fecha, de los resultados obtenidos, únicamente los correspondientes a deflexiones de 25

mm se utilizaron como referencia en la temperatura de proceso inicial para la extrusión de PET reciclado, lo que es de gran utilidad debido a que al inicio no se disponía de dicha información para la caracterización técnica del prototipo de la extrusora indicada en Sánchez et al. (2011).



Figura 8. EcoStar es la planta en el estado del arte del reciclaje que muele y lava botellas de manera posterior al consumo para productos de termoformado. Imagen tomada de <http://www.ecostarplastics.com/>

LITERATURA CITADA

- AL-HAIK, M., VAGHAR, M. R., GARMESTANI, H., y SHAHAWY, M. Viscoplastic analysis of structural polymer composites using stress relaxation and creep data. *Composites: Part B* 32(2001): 165-170. Elsevier Science Ltd. S1359-8368(00)00042-1, 2001.
- ARTEAGA VÁZQUEZ, A. M. y RAYMONDE REMARQUETTE, N. Propiedades reológicas del polipropileno en flujos elongacionales y de cizallamiento. *Scientia Et Technica*, XIII(036): 397-400, Universidad Tecnológica de Pereira, ISSN 0122-1701. Septiembre 2007.
- AUS DER WIESCHE, S. Industrial thermoforming simulation of automotive fuel tanks. *Applied Thermal Engineering*, Elsevier Ltd, 2391-2409, 2004.
- BOURGIN, P., CORMEAU, I., y SAINT-MATIN, T. A first step towards the modelling of the thermoforming of plastic sheets. *Journal of Materials Processing Technology*, 54(1995): 1-11. Elsevier Science S. A. SSDI 0924-0136(95)01910-7, 1995.
- BRIODY, C., DUIGNAN, B., JERRAMS, S. y RONAN, S. Prediction of Compressive Creep Behaviour in Flexible Polyurethane Foam Over Long Time Scales and at Elevated Temperatures creep. *Polymer Testing*, 31(8): 1019-1025. Elsevier Ltd., 2012.
- CORMENZANA CARPIO, J. L. *Fluido Dinámica y Orientación Molecular en Flujo de Polímeros Fundidos con Superficies Libres*. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, 2001.
- FLORES, A., BALTA CALLEJA, F. J., y ASANO, T. Creep behavior and elastic properties of annealed cold-drawn poly(ethylene terephthalate): The role of the smectic structure as a precursor of crystallization. *Journal of Applied Physics*, 90(12) Dec. 15, 2001.
- HIEBER, C. A. y CHIANG, H. H. *Spiral-Flow Analysis Including Variable Density Effects*. ANTEC '93.
- LECHAT, C., BUNSELL, A. R., y DAVIES, P. Tensile and creep behaviour of polyethylene terephthalate and polyethylene naphthalate fibres. *Journal of Materials Science*, 46(2): 528-533, 2011.
- MEISSNER, J. y HOSTETTLER, J. A new elongational rheometre for polymer melts and other highly viscoelástico liquids. *Rheol. Acta* 33: 1-21, 1994.
- PEGORETTI, A. KOLARIK, J., y SLOUF, M. Phase structure and tensile creep of recycled poly(ethylene terephthalate)/short glass fibers/impact modifier ternary composites. *eXPRESS Polymer Letters*, 3(4): 235-244, 2009.
- PONZ ESTAÚN, L. *Metodología para la caracterización reológica de materiales termoplásticos en condiciones no convencionales para su aplicación a herramientas de simulación, aplicación a un PEHD reciclado*. Tesis Doctoral. Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza. 2008.
- RAO, N. S., SCHUMACHER, G., y MA, C. T. *Prediction Flow Length of Spiral Melt Flows in Injection Molds by a Semi-Empirical Model*. ANTEC '99.
- SÁNCHEZ LÓPEZ, C., SAUCEDO ZÁRATE, C. H., ESPARZA GONZÁLEZ, M. S., CASTAÑEDA RAMOS, L. A., SIERRA ORTIZ, R. B., y MARTÍNEZ PRIETO, J. J. *Caracterización del proceso de extrusión de PET reciclado*. Protocolo de investigación. Convocatoria de Investigación Científica y Tecnológica 2011. Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica; Dirección General De Educación Superior Tecnológica; Instituto Tecnológico de Aguascalientes; Cuerpo Académico Automatización y Control de Sistemas, 2011.
- SÁNCHEZ LÓPEZ, C., SAUCEDO ZÁRATE, C. H., ESPARZA GONZÁLEZ, M. S., CASTAÑEDA RAMOS, L. A., SIERRA ORTIZ, R. B., y MARTÍNEZ PRIETO, J. J. *Caracterización del proceso de extrusión de PET reciclado*. Informe técnico de avance. Proyectos de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica; Dirección General De Educación Superior Tecnológica; Instituto Tecnológico de Aguascalientes; Cuerpo Académico Automatización y Control de Sistemas, 2012.
- THOMANN, U. I. y ERMANNI, P. Axial deformation behavior of discontinuous aligned fibre reinforced commingled yarn preforms at thermoforming conditions. *Composites Science and Technology*, 64, 1899-1912. Elsevier Ltd., 2004.

Caracterización mecánica por ondas de esfuerzo de madera plastificada de *Quercus scytophylla*

Mechanical characterization by stress waves of *Quercus scytophylla* plasticized wood


 Javier Ramón Sotomayor Castellanos^{1*}, Joel Benancio Olguín Cerón¹

Sotomayor Castellanos, J. R., Olguín Cerón, J. B., Caracterización mecánica por ondas de esfuerzo de madera plastificada de *Quercus scytophylla*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 61: 33-40, enero-abril 2014.

RESUMEN

Se calcularon la velocidad y los módulos de elasticidad por ondas de esfuerzo en madera de *Quercus scytophylla*. Las probetas se plastificaron empleando calor transmitido por vapor a baja temperatura y baja presión en condición higosaturada de la madera. De manera no destructiva se confirmó empíricamente que el tratamiento higrótérmico en combinación con el deformado plástico no modifica la capacidad de la madera para transmitir ondas de esfuerzo.

ABSTRACT

Stress wave speed and modulus of elasticity were calculated for *Quercus scytophylla* wood. The specimens were plasticized with heat transmitted by low temperature and pressure steamed for higr-thermal state of wood. Using non destructive testing it was shown that higr-thermal treatment, combined with plastic molding, do not modify the wood capacity to transmit stress waves.

Palabras clave: densidad, contenido de humedad, calor, vapor, velocidad de onda de esfuerzo, módulo de elasticidad, madera de *Quercus scytophylla*.

Keywords: density, moisture content, heat, steam, stress wave speed, modulus of elasticity, *Quercus scytophylla* wood.

Recibido: 16 de enero de 2013, aceptado: 27 de agosto de 2013

¹ Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

* Autor para correspondencia: madera999@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

La madera del género *Quercus* muestra un potencial importante como material para la elaboración de productos de madera. Bello González y Labat (1987) y Arizaga, Martínez Cruz, Salcedo Cabrales y Bello González (2009) presentan la descripción de la especie *Q. scytophylla*, los usos de la madera y la distribución geográfica. Pérez Olvera y Dávalos Sotelo (2008) estudiaron las características macro y microanatómicas de la madera de *Q. scytophylla*. Igualmente, Pérez Olvera y Dávalos Sotelo (2008) estudiaron las características físicas y mecánicas de *Q. scytophylla*. Por su parte, Sotomayor Castellanos, Guridi Gómez y García Moreno (2010), determinaron las velocidades del ultrasonido y los módulos de elasticidad de la madera en estudio. Recientemente, Hernández Maldonado (2010), empleando modelos de predicción a partir de la densidad del material, estimó para la especie *Q. scytophylla* las características elásticas relacionadas con el modelo general de comportamiento elástico de la madera.

La madera es un material termoelástico: cuando la temperatura interna de la madera aumenta, su módulo de elasticidad disminuye. Esta manifestación tiene un carácter instantáneo y temporal. Es decir, si la madera recobra su temperatura inicial, el módulo de elasticidad recobra su valor anterior. Este hecho se observa preferentemente en un rango de temperaturas de 0 a 120°C (Kollmann y Côté, 1968).

La madera es también un material higr-elástico: si el contenido de humedad de la madera se incrementa, el módulo de elasticidad decrece. Este fenómeno es igualmente de efecto momentáneo

y temporal. Es decir, cuando la madera recobra su contenido de humedad inicial, el valor del módulo de elasticidad se recupera. Este síntoma se verifica principalmente en el dominio higroscópico de la madera, que va de su estado anhidro al 32% en su contenido de humedad (Kollmann y Côté, 1968).

El efecto combinado en la madera de los parámetros temperatura y contenido de humedad se relaciona de tal forma, que el incremento de la temperatura puede ocasionar una disminución en el contenido de humedad, pero no viceversa.

Por otra parte, la madera es un material plástico: si la madera es deformada más allá del dominio elástico, se observa en ella una condición de deformación geométrica permanente; es decir, un estado plástico. Estas tres propiedades de la madera pueden ser incorporadas en un mismo procedimiento: el plastificado mecánico, en presencia de un ingrediente hídrico, combinado con uno térmico. En esta investigación, a este proceso se le denomina plastificado higrotérmico de la madera.

Curvado de la madera

Katsuragi (2005) puntualiza que el curvado de madera sólida, plastificada con vapor de baja presión, es una práctica barata y eficiente para procesos en escala semiindustrial. El curvado de madera laminada ha sido estudiado entre otros por Hernández Santiago, Dávalos Sotelo y Salomón Quintana (2008); detalles sobre la técnica de curvado por cortes de sierra pueden ser consultados en Katsuragi (2005); la fenomenología de la modificación de la madera por tratamientos químicos y su influencia en el proceso de curvado, puede ser examinada, entre otros, en Rowell, Lange, McSweeney y Davis (2002) y Weigl, Müller, Wimmer y Hansmann (2011); la tecnología de la densificación de la madera y sus implicaciones en la técnica del curvado por compresión puede ser revisada, entre otros autores, en Kutnar y Šernek (2007). En relación con el método de curvado por calentamiento interno, Norimoto y Gril (1989) y Makinaga, Norimoto e Inoue (1997) presentan sus resultados empleando una técnica de microondas. Por otra parte, información sobre el curvado externo con métodos de calentamiento directo, de plato caliente y por cocimiento, puede ser consultada en Peck (1957), Hwang et al. (2002) y Rowell et al. (2002). Finalmente, la tecnología de curvado por métodos con vapor está detallada, entre otros autores, por Kollmann y Côté (1968) y Niemiec y Brown (1995).

Métodos no destructivos

García et al. (2012) evaluaron el efecto del tratamiento térmico sobre la madera de *Eucalyptus grandis*, con temperaturas que van de 180°C a 230°C y por periodos de 15 minutos, 2 horas y 4 horas. Estos investigadores calcularon el módulo de elasticidad de la madera empleando un aparato de tecnología Metriguard®. Entre sus principales resultados, observaron que el módulo de elasticidad medido por ondas de esfuerzo disminuyó hasta un 13%.

Miettinen, Titta y Lappalainen (2005) estudiaron el efecto de tratamiento térmico sobre la velocidad de ultrasonido en piezas de madera del género *Pinus*. Entre sus diferentes tratamientos térmicos, los investigadores midieron la velocidad de ultrasonido a una temperatura de 70°C. Sus resultados indican una velocidad del ultrasonido en la dirección longitudinal de la madera en un intervalo de 5,420 m/s a 5,520 m/s. Mohebbi, Kamran y Roohinia (2007) estudiaron el efecto del tratamiento térmico en madera de *Morus alba*. Sus temperaturas observadas fueron 100°C, 120°C y 140°C, por periodos de 1 y 5 horas. El método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad de la madera fue el de vibraciones transversales libres. Sus resultados indican que el tratamiento térmico aplicado por más de una hora incrementa ligeramente los valores del módulo de elasticidad. Widmann, Beikircher y Fisher (2007) estudiaron madera de *Fagus sylvatica*, sometida a tratamiento térmico con una temperatura de 180°C, con tiempos de tratamiento de 4, 8 y 16 horas. Los autores emplearon la tecnología Grindosonic® para evaluar el módulo de elasticidad en vibraciones libres y la tecnología Sylvatest® para estimar el módulo de elasticidad por ultrasonido. Por su parte, Cornejo Troncoso y Beattig Palma (2009) estudiaron el módulo de elasticidad de la madera de *Pinus radiata* en vibraciones transversales y su variación cuando la temperatura aumenta de 0°C a 100°C. Los autores observaron que a medida que la temperatura aumenta, el módulo de elasticidad disminuye, con una tasa de -.2% por °C.

Tratamientos térmicos

Oltean, Teischinger y Hansmann (2011) estudiaron programas de secado de madera con temperaturas bajas y moderadas, y su influencia en características mecánicas de la madera de *Picea abies*. Las temperaturas estudiadas van de 45°C a 80°C. Asimismo, resaltan la problemática para comparar los datos disponibles en la literatura. La dificultad

radica en las diferentes condiciones experimentales que se emplean en cada investigación, por ejemplo el tipo, forma y dimensiones de las probetas, así como los métodos experimentales. Thompson (1969) encuentra una reducción en el módulo de elasticidad de 1.6% en madera de *Pinus palustris*, tratada a una temperatura de 83.3°C; Terziev y Daniel (2002) ven reducido el módulo de elasticidad para esta misma especie hasta en un 12.8%, para una temperatura de 60°C. Finalmente, Graham (1957) observó una reducción en el módulo de elasticidad de 1% en madera de *Pseudotsuga menziesii*, tratada a 94°C. Estas temperaturas corresponden a rangos de secado bajos y moderados. Por tanto, y de acuerdo con Green, Winandy y Krestschmann (1999), la disminución en la resistencia mecánica de la madera ocasionada por el calor a temperaturas menores de 100°C debería ser reversible e inmediata.

Estévez y Pereira (2009) revisan las modificaciones sufridas por la madera, ocasionadas por tratamientos térmicos. Entre otros tópicos, los autores discuten las transformaciones en la estructura química y anatómica de la madera. Además, Estévez y Pereira (2009) tratan el efecto del calor en la alteración de las características mecánicas del material. Por ejemplo, el módulo de elasticidad de la madera se incrementa con el aumento de la cristalinidad de la celulosa. Este fenómeno predomina al principio de un tratamiento térmico, pero si continúa el aumento de la temperatura, la degradación de la madera resulta en la disminución del módulo de elasticidad. Por su parte, Oltean, Teischinger y Hansmann (2007) hacen notar que la resistencia mecánica de la madera no es afectada de manera permanente si ésta es expuesta por periodos cortos y a temperaturas menores a 100°C. Sin embargo, la resistencia puede disminuir de manera permanente si la madera se expone a una temperatura mayor de 65°C durante periodos de tiempo prolongado. En general, cuando los valores de las propiedades mecánicas de la madera se ven disminuidos por el efecto de tratamientos térmicos, la temperatura en la cual empieza a observarse este fenómeno es de 160°C. Un tratamiento de menos de 100°C no deberá modificar las características mecánicas de la madera.

A partir de los argumentos anteriores, la investigación propone la siguiente hipótesis: El tratamiento higrotérmico y el deformado plástico no modifican su capacidad para transmitir ondas de esfuerzo.

El objetivo de la investigación es determinar el módulo de elasticidad por ondas de esfuerzo en probetas con y sin tratamiento higrotérmico de la madera de *Q. scytophylla*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material experimental consistió en madera de la especie *Q. scytophylla*, proveniente de un árbol colectado en el municipio de Morelia, Michoacán. A partir del árbol, se cortaron dos trozas de 1.1 m de largo y de 45 cm de diámetro. De estas trozas se aserraron tablones de corte radial, de 50 mm por 125 mm de sección transversal. Finalmente, se dimensionaron cuatro grupos de listones para las pruebas preliminares, de referencia, de suavizado y deformado.

Una vez suavizados los listones o deformados, se procedió a elaborar con ellos las probetas destinadas a las pruebas de ondas de esfuerzo. El proceso de plastificado de la madera para preparar las probetas está descrito en Olguín Cerón y Sotomayor Castellanos (2013).

Del conjunto total de listones para las pruebas de ondas de esfuerzo se recortaron 35 probetas, identificadas como probetas rectas sin tratamiento (PRST); además, se elaboraron 35 probetas, identificadas como probetas rectas suavizadas (PRS); y finalmente, se prepararon 35 probetas, identificadas como probetas suavizadas, deformadas y plastificadas (PSDP), llamadas también probetas curvas.

Las dimensiones de la sección transversal formada por el plano radial-tangencial, de las probetas PRST, PRS y PSDP, fueron de 19 x 19 mm en promedio. El largo de las probetas PRST y PRS en la dirección longitudinal fue de 320 mm. El largo de las probetas PSDP fue considerado en su eje medio geométrico, es decir de 31.74 mm en promedio y fue proporcional a su radio de curvatura de 40 cm.

Las pruebas de ondas de esfuerzo consistieron en medir el tiempo de recorrido de las ondas de esfuerzo en la dirección longitudinal de tres tipos de probetas: 35 probetas rectas sin tratamiento (PRST), 35 probetas rectas suavizadas (PRS) y 35 probetas deformadas y plastificadas (PSDP).

El tiempo de recorrido de las ondas en la madera se midió empleando un cronómetro de marca

Metriguard®. El tiempo empleado para cálculo y análisis subsecuentes fue el tiempo promedio de tres solicitaciones en cada probeta. El dispositivo empleado para estas pruebas se muestra en la Figura 1.

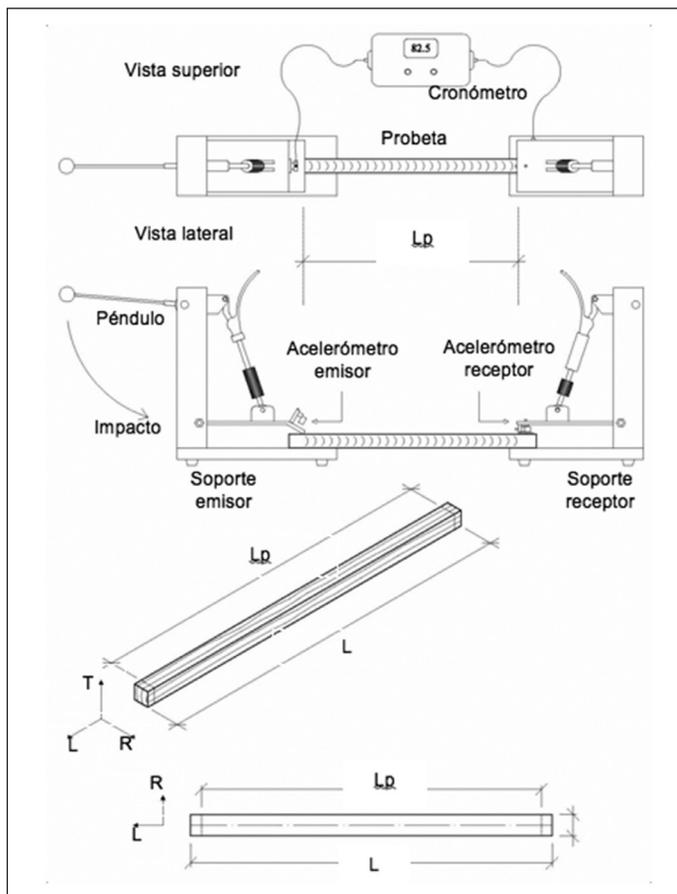


Figura 1. Dispositivo para pruebas de ondas de esfuerzo en las probetas rectas.

La velocidad (V_{oe}) de recorrido de las ondas de esfuerzo a lo largo de las probetas fue determinada por la relación entre la distancia de los apoyos de la probeta; es decir, la portada de ondas de esfuerzo y el tiempo de recorrido de la onda entre apoyos. La velocidad V_{oe} en las probetas curvas fue determinada con la relación:

$$V_{oe} = \frac{L_{cen}}{t} \quad (1)$$

donde L_{cen} es la longitud al centro geométrico en la dirección de las probetas curvas, calculado con la fórmula (Perré, 2007):

$$L_{cen} = 2 \theta R_{cen} \quad (2)$$

donde θ es el ángulo formado por el centro de curvatura y los extremos de la probeta, y/o el segmento sometido a ondas de esfuerzo y R_{cen} es el radio al arco central de la probeta.

El módulo de elasticidad por ondas de esfuerzo (E_{oe}) en la dirección longitudinal de las probetas se calculó con la fórmula (Pellerin y Ross, 2002):

$$E_{oe} = \rho_H V_{oe}^2 \quad (3)$$

donde ρ_H es la densidad de la madera con un contenido de humedad H .

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las pruebas de ondas de esfuerzo realizadas en tres grupos de probetas: probetas rectas sin tratamiento (PRST), probetas rectas suavizadas (PRS) y probetas suavizadas, deformadas y plastificadas (PSDP). Los estadígrafos son: media aritmética (Med. Arit.), desviación estándar (Desv. Est.) y coeficiente de variación (C.V.) en porcentaje. Los resultados del tratamiento higrotérmico y de plastificado se presentan de manera gráfica en la Figura 2. En esta Figura se muestra una fotografía de probetas producidas para los ensayos de ondas de esfuerzo.

DISCUSIÓN

Si bien las características tecnológicas de la madera varían entre especies, individuos y al interior del árbol; para fines de análisis subsecuente, se considera que la variabilidad natural en las características tecnológicas de la madera no influye de manera explicativa en los resultados de esta investigación.

Una prueba de comparación de medias entre los valores de las medias aritméticas de la velocidad de las ondas de esfuerzo entre los tres grupos de probetas, correspondientes a los tratamientos: probetas rectas sin tratamiento (PRST), probetas rectas suavizadas (PRS) y probetas suavizadas, deformadas y plastificadas (PSDP), dio como resultado que no existe una diferencia estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95% entre ninguno de los tratamientos.

Este resultado propone que el tratamiento higrotérmico y la deformación plástica a los cuales fue sometida la madera de *Q. scytophylla* no

modificaron la capacidad del material para transmitir ondas de esfuerzo en la dirección longitudinal respecto al plano leñoso.

Durante esta etapa experimental se observó que la correcta orientación del listón en el sistema de coordenadas radial, tangencial y longitudinal, favorece la deformación mecánica. Igualmente, se advirtió que la variación a nivel local en el acomodo del tejido leñoso desfavoreció al proceso, del tal forma que una tercera parte de los listones flexionados presentaron fisuras locales. Como consecuencia, el recorte y la selección de probetas para las pruebas de ondas de esfuerzo favorecieron los listones y segmentos sin daños aparentes.

La velocidad de transmisión de las ondas de esfuerzo (3642 m/s) en las probetas rectas sin tratamiento (PRST), evaluadas con un contenido de humedad de la madera de 11.96%, es ligeramente mayor que el intervalo de velocidades de 1,770 m/s a 2,260 m/s reportado por Pellerin y Ross en 2002 para madera de especies del género *Quercus*. Estos valores de comparación corresponden a la velocidad de ondas de esfuerzo en la dirección longitudinal de la madera, con un contenido de humedad del 12% y para densidades similares a la de *Q. scotyphylla* (700 kg/m³).

Es conveniente señalar que una variación en el contenido de humedad de la madera modificará

Tabla 1. Resultados de las pruebas de ondas de esfuerzo

	ρ_H (kg/m ³)	H (%)	Voe (m/s)	Eoe (MPa)
Probetas rectas sin tratamiento (PRST)				
Med. Arit.	788	11.96	3642	11385
Desv. Est.	18.83	0.3524	150	1007
C.V.	2.39	2.95	4.13	8.85
Probetas rectas suavizadas (PRS)				
Med. Arit.	744	11.70	3700	11515
Desv. Est.	18.63	0.9462	114	912
C.V.	2.51	8.09	3.09	7.92
Probetas suavizadas, deformadas y plastificadas (PSDP)				
Med. Arit.	747	10.83	3638	11358
Desv. Est.	23.15	0.3274	72	477
C.V.	3.10	3.02	02.00	4.20



Figura 2. Fotografía de probetas curvas y rectas.

la velocidad de transmisión de las ondas de esfuerzo. Para el dominio higroscópico, la velocidad aumentará proporcionalmente al contenido de humedad.

La estructura material de las probetas (PRST) fue homogénea y bien orientada en las direcciones radial, tangencial y longitudinal. Las dimensiones de la sección transversal de estas probetas (R: 17.53 mm; T: 18.67 mm) fueron similares a las de las probetas sin tratamiento (LPST). Sin embargo su longitud fue más corta (320 mm). Del mismo modo, el coeficiente de variación del contenido de humedad de la madera fue menor al 3%. Durante las pruebas se observó, asimismo, que las tres mediciones realizadas en cada probeta fueron repetitivas y confiables.

Estos detalles de las probetas y de los ensayos resultaron en un coeficiente de variación de la velocidad de las ondas de esfuerzo de 4.13%, valor aceptable en investigación en Ciencias y Tecnología de la Madera. Estos resultados confirman que los ensayos de ondas de esfuerzos son confiables para evaluar las características tecnológicas de la madera sometida a tratamiento higrotérmico, de manera no destructiva.

Desde una perspectiva material, la estructura a nivel local de las probetas curvas es modificada por el agente mecánico expresado en la relación radio/espesor (RE: 22.81), y resultado en las tasas de



Figura 3. Dispositivo para deformación de flexión curva. Imagen tomada por los autores.

deformación en compresión (ϵ_c : 2.93%) y en tensión (ϵ_t : 1.28%). Una vez la madera en el dominio higrotermo plástico, las zonas de compresión y de tensión se transforman en deformaciones permanentes.

Esta alteración en la estructura interna de la probeta modifica la homogeneidad de la densidad a nivel local de la madera. Sin embargo, el fenómeno de transmisión de ondas de esfuerzo en la dirección longitudinal de la madera representa únicamente la vibración de la sección transversal de la probeta en la dirección longitudinal. En consecuencia, cada sección transversal compuesta por dos sectores con densidades diferentes se desplaza de manera uniforme y relativamente paralela unas a otras. Así, esta estructura compuesta de dos densidades no se expresa en el fenómeno de transmisión de ondas de esfuerzo.

Por otra parte, se observó que después del tratamiento de plastificado higrotérmico de la madera, un porcentaje de alrededor del 5% de las probetas presentaron modificaciones en su geometría y cambios en su estructura material. Respecto a su geometría durante las etapas de solidificado, estabilizado y acondicionado, ocasionado por el efecto de la disminución del contenido de humedad en la madera de 57% a 12%, el fenómeno de higrocontracción en el dominio higroelástico se reflejó en la variación dimensional de la sección transversal de la probeta.

Este efecto se minimizó ajustando el volumen de las probetas, necesario para el cálculo de la densidad de la madera, con mediciones promedio de sus dimensiones. De esta manera, la higrocontracción de la madera no influyó para análisis posteriores.

Respecto a su estructura material, las probetas presentaron sectores de alrededor de 1 mm de espesor, con ruptura por compresión del tipo pliegues estrujados, siempre a nivel local y en la cara cóncava de las probetas, es decir en la zona de compresión. Durante esta investigación se considera que estas alteraciones no influyeron en la transmisión de ondas de esfuerzo en la madera.

Igualmente, en la cara convexa de las probetas se presentaron separaciones de segmentos de fibras de alrededor de 1 mm de longitud, similares a desprendimientos por cepillado. Parece ser que la tasa de deformación en tensión aplicada en la fibra extrema de la probeta excedió el límite elástico en tensión, en la dirección longitudinal de la madera de *Q. scytophylla*. Por ello la aparición de fisuras locales. No obstante, para fines prácticos en la determinación de la velocidad de ondas de esfuerzos en la dirección longitudinal, esta anomalía no influyó de manera significativa.

En efecto, una temperatura de 92°C, aplicada durante un período de 50 minutos en una probeta de madera de sección esbelta, independientemente de que su geometría sea recta o curva, con o sin tratamiento, mantiene, desde el punto de vista mecánico, inalterable su estructura material. Y en consecuencia, no se modifica su capacidad para transmitir ondas de esfuerzo.

Módulo de elasticidad

Los valores de los módulos de elasticidad calculados por ondas de esfuerzo (E_{oe}), correspondientes a los tres grupos ordenados de acuerdo a los tres tratamientos aplicados a la madera, no presentaron diferencias estadísticas significativas al nivel de confianza del 95%, en una prueba de comparación de medias. Este resultado coincide con los datos de Oltean et al., Teischinger (1992) y Thiam, Milota y Leichti (2002). Estos investigadores no encontraron una diferencia estadísticamente significativa para el módulo de elasticidad de la madera, evaluado en flexión tres puntos, cuando el material fue sometido a tratamientos térmicos que van de 50°C a 116°C. Estos resultados son específicos para las especies *Picea* spp. y *Tsuga heterophylla*.

En otras palabras, el módulo de elasticidad que depende de un parámetro material, como lo es la densidad, y de un parámetro mecánico, como lo es la capacidad de transmisión de ondas de esfuerzo, no varía en correspondencia con la estabilidad de estos parámetros.

CONCLUSIONES

De manera no destructiva se confirmó empíricamente que el tratamiento higrotérmico en combinación con el deformado plástico, sin fisuras aparentes, no modifican la capacidad de la madera para transmitir ondas de esfuerzo.

Desde el punto de vista de la respuesta elástica de la madera modificada se confirma que no se altera la estructura material de la madera originada por el tratamiento de plastificado. Este corolario se restringe para el tratamiento higrotérmico y de plastificación realizado con listones y probetas preparados específicamente para esta investigación, con madera de *Q. scytophylla* del estado de Michoacán.

Se demostró estadísticamente que la velocidad de ondas de esfuerzo y el módulo de elasticidad de las probetas no varían como resultado de los tratamientos de suavizado, plastificado y deformado.

LITERATURA CITADA

- ARIZAGA, S., MARTÍNEZ CRUZ, J., SALCEDO CABRALES, M., y BELLO GONZÁLEZ, M. A. *Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología, 2009.
- BELLO GONZÁLEZ, M. A. y LABAT, J. N. *Los encinos (Quercus) del estado de Michoacán, México*. Collection Etudes Mesoaméricaines. México: Centre d'Etudes Mexicaines et Centraméricaines-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, 1987.
- CORNEJO TRONCOSO, J. y BAETTIG PALMA, R. Evolución del módulo de elasticidad longitudinal entre 10°C y 100°C en piezas de *Pinus radiata* usando una técnica de evaluación no destructiva. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, 11(2): 153-160, 2009.
- ESTÉVEZ, B. M. y PEREIRA, H. M. Wood Modification by Heat Treatment: A Review. *Bioresources*, 4(1):370-404, 2009.
- GARCÍA, R. A., MONTEIRO DE CARVALHO, A., DE FIGUEIREDO LATORRACA, J. V., MONTEIRO DE MATOS, J. L., SANTOS, W. A. y FONSECA DE MADEIROS SILVA, R. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. *Wood Science and Technology*, 46(1-3): 41-52, 2012.
- GRAHAM, R. D. Effect of several drying conditions on strength of coast-type Douglas-fir timbers. *Forest Products Journal*, 7(7): 228-233, 1957.
- GREEN, D. W., WINANDY, J. E. y KRESTSCHMANN, D. E. Chapter 4. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. In: Forest Products Laboratory. *Wood Handbook: Wood As An Engineering Material*, Revised. FPL-GTR-113. USA: U. S. Department of Agriculture-Forest Service-Forest Products Laboratory, 1999.
- HERNÁNDEZ MALDONADO, S. A. *Comportamiento elástico de la madera. Teoría y aplicaciones*. Tesis de Maestría. México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 2010.
- HERNÁNDEZ SANTIAGO, A., DÁVALOS SOTELO, R., y SALOMÓN QUINTANA, I. Resistencia mecánica de pequeños arcos de madera laminada. *Ingeniería*, 12(3): 43-52, 2008.
- HWANG, K., JUNG, I., LEE, W., JANG, J., BAE, H., y NORIMOTO, M. Bending Quality of Main Korean Wood Species. *Wood Research*, 89: 6-10, 2002.
- KOLLMANN, F. F. P. y CÔTÉ, W. A. Volume I: Solid Wood. *Principles of Wood Science and Technology*. Germany: Springer-Verlag, 1968.
- KUTNAR, A. y ŠERNEK, M. Densification of Wood. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 82: 53-62, 2007.
- MAKINAGA, M., NORIMOTO, M. e INOUE, M. Permanent Fixation of Bending Deformation in Wood by Steam Treatment. *Wood Research*, 84: 39-41, 1997.
- MIETTINEN, P., TITTA, M. y LAPPALAINEN, R. Electrical and Ultrasonic Analysis of Heat-Treated Wood. In: *Proceedings of The 14th Symposium on NDT of Wood*. University of Eveswalde, Germany, 265-274, 2005.
- MOHEBBY, B., KAMRAN, Y. y ROOHINIA, M. Acoustic Properties of Hydrothermally Modified Mulberry (*Morus alba* L.) Wood. In: *Proceedings of The Third European Conference on Wood Modification*. United Kingdom, pp. 283-286, 2007.

- NIEMIEC, S. S. y BROWN, T. D. Steam Bending Red Alder. In: Western Hardwoods. *Value-Added Research and Demonstration Program. General Technical Report FPL-GTR-85*. USA: U.S. Department of Agriculture-Forest Service-Forest Products Laboratory, 1995.
- NORIMOTO, M. y GRIL, J. Wood Bending Using Microwave Heating. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 24(4): 203-212, 1989.
- OLGUÍN CERÓN, J. B. y SOTOMAYOR CASTELLANOS, J. R. Plástico higró-termico de madera de *Quercus scytophylla*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 59: 25-33, 2013.
- OLTEAN, L., TEISCHINGER, A. y HANSMANN, C. Influence of Temperature on Cracking and Mechanical Properties of Wood During Wood Drying-A Review. *BioResources*, 2(4): 789-811, 2007.
- PECK, E. C. *Bending Solid Wood to Form*. Agriculture Handbook No. 125. USA: U.S. Department of Agriculture-Forest Service, 1957.
- PELLERIN, R. F. y ROSS, R. J. *Nondestructive Evaluation of Wood*. USA: Forest Products Society, 2002.
- PÉREZ OLVERA, C. P. y DÁVALOS SOTELO, R. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques*, 14(3): 43-80, 2008.
- PERRÉ, P. Experimental device for the accurate determination of wood-water relations on micro-samples. *Holzforchung*, 61: 419-429, 2007.
- ROWELL, R. LANGE, S., MCSWEENEY, J., y DAVIS, M. Modification of Wood Fiber Using Steam. In: *Proceedings of The 6th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium & Workshop on The Chemical Modification of Cellulosics*. USA, pp. 606-615, 2002.
- SOTOMAYOR CASTELLANOS, J. R., GURIDI GÓMEZ, L. I., y GARCÍA MORENO, T. Características acústicas de la madera de 152 especies mexicanas. Velocidad del ultrasonido, módulo de elasticidad, índice material y factor de calidad. Base de datos. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 6(1): 3-32. México, 2010.
- TEISCHINGER, A. Effect of different drying temperatures on selected physical wood properties. In: *Proceedings 3rd IUFRO International Wood Drying Conference*. Austria, 1992.
- TERZIEV, N. y DANIEL, G. Industrial kiln drying and its effect on microstructure, impregnation and properties of Scots pine timber impregnated for above ground use. *Holzforchung*, 56: 434-439, 2002.
- THIAM, M., MILOTA, M. R., y LEICHTI, R. J. Effect of high-temperature drying on bending and shear strengths of western hemlock lumber. *Forest Products Journal*, 52(4): 64-68, 2002.
- THOMPSON, W. S. Effect of steaming and kiln drying on the properties of Southern pine poles. *Forest Products Journal*, 19(1): 21-28, 1969.
- WEIGL, M., MÜLLER, U., WIMMER, R., y HANSMANN, C. Ammonia vs. Thermally Modified Timber—Comparison of Physical and Mechanical Properties. *European Journal of Wood Products*, 70(1-3): 233-239, 2012.
- WIDMANN, R., BEIKIRCHER, W. y FISHER, A. Mechanical Properties of Thermal Treated Hardwood (Beech): Bending and Tension Strength and Stiffness of Boards. In: *Proceedings of The Third European Conference on Wood Modification*. United Kingdom, pp. 187-190, 2007.

De páginas electrónicas

- KATSURAGI, K. *Furniture Maker Tai-Workshop*. De: <http://www.tai-workshop.com/english/index-e.html>. Japan, jun. 2012.
- OLTEAN, L., TEISCHINGER, A. y HANSMANN, C. Influence of low and moderate temperature kiln drying schedules on specific mechanical properties of Norway spruce wood. *European Journal of Wood Products*, 69(3): 451-457, 2011. DOI 10.1007/s00107-010-0467-1.

Esfuerzo de extracción de clavos y tornillos para madera en cuatro especies de pino de Durango, México

Withdrawal strength of nails and wood screws in four pine species from Durango, Mexico

Juan Abel Nájera Luna^{1*}, Jesús Ponciano Olivas Bejarano²,
Jorge Méndez González³

Nájera Luna, J. A., Olivas Bejarano, J. P., Méndez González, J., Esfuerzo de extracción de clavos y tornillos para madera en cuatro especies de pino de Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 61: 41-47, enero-abril 2014.

RESUMEN

Se realizó un estudio tecnológico en la madera de *Pinus engelmannii* Carr., *P. douglasiana* Martínez, *P. leiophylla* Schltdl. y Cham. y *P. herrerae* Martínez de El Salto, Durango, para conocer el esfuerzo mecánico a la extracción de clavos de 2.5 x 50, 3 x 63.5 y 3.3 x 76.2 mm, así como de tornillos de 4 x 50 mm para madera conforme a la norma ASTM-D1761-88. Se realizaron 40 repeticiones por especie para cada tipo de clavo y tornillo considerando los planos radial, tangencial y transversal de la madera. Los valores obtenidos se ajustaron al 12% de contenido de humedad. Los resultados mostraron una resistencia mayor a la extracción de clavos en la madera de *Pinus engelmannii* con 61.89 kgf; el plano radial de la madera exhibió 50.35 kgf y los clavos de 3.3 x 76.2 mm registraron 53.33 kgf. En los tornillos de 4 x 50 mm, la mayor resistencia la presentó la madera de *P. douglasiana* con 315.09 kgf.

Palabras clave: plano radial, plano tangencial, plano transversal, elementos de unión, *Pinus* sp., Durango.

Keywords: radial surface, tangential surface, transverse surface, joint members, *Pinus* sp., El Salto, Durango.

Recibido: 4 de abril de 2013, **aceptado:** 30 de septiembre de 2013

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto.

² Programa de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de El Salto.

³ Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

* Autor para correspondencia: jalnajera@yahoo.com.mx, jalnajeraster@gmail.com

ABSTRACT

A technological study in the wood of *Pinus engelmannii* Carr., *P. douglasiana* Martínez, *P. leiophylla* Schltdl. y Cham. and *P. herrerae* Martínez from El Salto, Durango, was conducted in order to determine the withdrawal stress in nails of 2.5 x 50, 3 x 63.5 and 3.3 x 76.2 mm, as well screws for wood of 4 x 50 mm according to the ASTM-D1761-88 standard. Forty replications were carried out by species for each type of nail and screw considering the radial, tangential and transverse surfaces. The values obtained were adjusted to 12% of moisture content. The results showed a greater strength withdrawal of nails in the wood of *P. engelmannii* with 61.89 kgf; the radial surface exhibited 50.35 kgf and the nails of 3.3 x 76.2 mm registered 53.33 kgf. For screws of 4 x 50 mm, the greatest strength was observed in the wood of *P. douglasiana* with 315.09 kgf.

INTRODUCCIÓN

Uno de los usos más importantes de la madera es la elaboración de estructuras, edificaciones y construcciones, las cuales son unidas mediante adhesivos, clavos, tornillos y conectores metálicos (Soltis, 1999). Las uniones pueden estar sometidas a cargas laterales o de extracción, cuya función es hacer deslizar las piezas de madera entre sí; o bien a cargas de extracción, que actúan tratando de separar las piezas en la dirección del eje del elemento de unión. El sitio en el que se generan los puntos más débiles en la mayoría de las estructuras es en las uniones, por lo cual es necesario conocer la resistencia admisible

de cada unión que la compone mediante ensayos mecánicos para garantizar aumentos significativos de la capacidad estructural (Rammer y Zelinka, 2004; Lomagno, 2008).

Los clavos y tornillos son los mecanismos más comunes para realizar ensamblajes en construcciones de madera; existen clavos y tornillos de muchos tipos, tamaños y formas; resisten cargas de extracción, cargas laterales o combinaciones de estas dos. Conocer la resistencia a la extracción de clavos y tornillos es importante para la industria del mueble y la construcción con madera, ya que los ensayos de extracción proporcionan datos importantes sobre las propiedades mecánicas de los materiales en cuestión (Flores, Yamaji, Vendrasco y Pires, 2009) y para los consumidores es vital tener información suficiente para la mejor elección de un elemento de unión que garantice la mejor capacidad estructural (Liska, 1971; Jaramillo, 2005; Aytekin, 2008).

La determinación de la propiedad de extracción de los elementos de unión es un ensayo que debe realizarse frecuentemente en la industria del mueble a modo de control de calidad (Poblete, Peredo e Inzunza, 1994). Pero debido a lo poco común de las pruebas de extracción de clavos y tornillos, existen muy pocas referencias sobre este tipo de ensayos en maderas mexicanas, a lo sumo existe la Norma Técnica Complementaria para el Diseño y Construcción de Estructuras de Madera (NTC-EM) (GDF, 2004), que menciona la resistencia lateral especificada para clavos de alambre y pernos en madera de coníferas y latifoliadas.

El presente trabajo centra su atención en la determinación de los esfuerzos de extracción de clavos y tornillos para madera en cuatro especies de pino de alto valor económico del estado de Durango como una contribución a su conocimiento tecnológico, partiendo del supuesto de que no existe diferencia en la resistencia a la extracción de clavos y tornillos en la madera de *Pinus engelmannii* Carr., *P. douglasiana* Martínez, *P. leiophylla* Schltdl. y Cham. y *P. herrerae* Martínez.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto Tecnológico de El Salto, el cual se encuentra en el kilómetro 102 de la carretera Durango-Mazatlán. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 23°47'18.8" de latitud norte y los 105°22'03.2" de longitud oeste.

Muestreo y selección

La madera ensayada se obtuvo de seis árboles de cada una de las siguientes especies: *Pinus engelmannii* Carr., *P. douglasiana* Martínez, *P. leiophylla* Schltdl. y Cham. y *P. herrerae* Martínez colectadas al azar en diferentes áreas de corta de la región de El Salto, Durango. Las trozas se aserraron para obtener viguetas de 7 x 7 x 122 cm, orientadas de tal forma que dos caras opuestas fueran radiales y las adyacentes tangenciales. Se sometieron a secado artificial hasta obtener un contenido de humedad cercano al 12%, evitando defectos como rajaduras y nudos en la madera de acuerdo a la norma ASTM-D1761-88 (ASTM, 1990). Una vez seca la madera, se mezcló con la finalidad de que cada árbol, trozo o vigueta tuviera la misma probabilidad de ser elegida para confeccionar las probetas objeto de ensayo.

Extracción de clavos y tornillos

Para realizar los ensayos de extracción de clavos y tornillos se utilizaron tres diferentes medidas de clavos de alambre con cabeza plana, vástago liso y anillado en su parte superior, punta adiamantada y sin ningún tratamiento especial; además, que fueran de uso común en construcciones de madera de la región. Las dimensiones fueron de 2.5 mm de diámetro y 50 mm de largo (2.5 x 50); 3 x 63.5 mm y 3.3 x 76.2 mm.

Se consideró sólo una medida de tornillos para madera, elaborados en acero con cabeza para destornillador de estrella y autorroscantes con dimensiones de 4 x 50 mm. Tanto los clavos como los tornillos se limpiaron antes de cada ensayo para eliminar cualquier material extraño.

Las probetas consistieron en prismas rectangulares de madera con dimensiones de 5 x 5 x 15 cm con orientaciones bien definidas de los planos radial y tangencial. Se siguió lo recomendado en la norma ASTM-D1761-88 (ASTM, 1990), la cual indica el procedimiento para realizar este ensayo, consistente en que dos clavos o tornillos deberán hincarse en ángulo recto a 32 mm de profundidad, a 20 mm de las aristas en las caras radiales y tangenciales, así como a 40 mm de los extremos de la probeta sin estar en la misma línea y con al menos una separación de 50 mm uno del otro; mientras que en las caras transversales los clavos y tornillos se hincan al centro de las probetas. En total se utilizan seis clavos o tornillos en cada probeta (Figura 1). Cada clavo y tornillo se utilizó una sola vez.



Figura 1. Probetas para el ensayo de extracción de clavos y tornillos.

Contenido de humedad de la madera

De cada probeta ensayada se extrajo una sección de madera de 5 x 5 x 2.5 cm, la cual fue secada en laboratorio a una temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas con la intención determinar el contenido de humedad mediante la siguiente relación (Ananías, 2004):

$$\text{CH} = \frac{\text{Ph} - \text{Po}}{\text{Po}} \times 100$$

donde:

CH= Contenido de humedad en %.

Ph= El peso inicial de la muestra de madera en g.

Po= El peso final de la muestra de madera secado en estufa en g.

Los resultados de los ensayos que se obtuvieron con diferentes contenidos de humedad de la madera en el rango del 10% a 20% se ajustaron a los valores corregidos de humedad del 12% mediante la siguiente ecuación (ABNT, 1997):

$$r_{12} = r_{u\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right]$$

donde:

r_{12} = Resistencia al 12% de contenido de humedad

$r_{u\%}$ = Valor de la resistencia encontrado al contenido de humedad ensayado

$u\%$ = Humedad de la probeta al momento del ensayo

Equipo y condiciones del ensayo

El equipo donde se realizaron los ensayos consistió en una Máquina Universal de ensayos mecánicos SATEC Instron® con capacidad de 60 toneladas de carga; cuenta con dos marcos: uno de compresión y otro de tensión; una interfaz llamada *transductor* se encarga de transmitir los impulsos de desplazamiento y carga al *software* de la máquina instalado en una computadora de escritorio que es la que despliega la información en tablas y gráficas. El bastidor con las mordazas que sujetan los clavos y tornillos se fija en el marco de tensión de la máquina universal, la velocidad de extracción se calibra en 2 mm/min durante todo el ensayo y como resultados se reportan los valores máximos de extracción que se obtuvieron en cada ensayo en kgf (Figura 2).



Figura 2. Ejecución del ensayo de extracción de clavos y tornillos.

Análisis estadístico

La resistencia a la extracción de clavos se analizó mediante un diseño factorial completamente al azar para valorar los factores: "especie" (*Pinus engelmannii*, *P. douglasiana*, *P. leiophylla* y *P. herrerae*); "plano de corte de la madera" (radial, tangencial y transversal) y "tipo de clavo" (clavo de 2.5 mm, clavo de 3 mm y clavo de 3.3 mm) así como los efectos de sus interacciones; mientras que para los tornillos se consideraron los factores: "especie" (*Pinus engelmannii*, *P. douglasiana*, *P. leiophylla* y *P. herrerae*) y "plano de corte de la madera" (radial, tangencial y transversal), así como los efectos de su interacción. Por cada tipo de clavo y tornillo se utilizaron 20 probetas por especie totalizando 40 repeticiones de extracción de clavos y tornillos por cada plano de

la madera. Para identificar diferencias estadísticas se realizaron análisis de varianza y comparaciones de medias mediante pruebas de Tukey considerando un nivel de significancia del 5%. El proceso del análisis de datos se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico InfoStat® 2008 (Di Rienzo et al., 2008).

RESULTADOS

El análisis de varianza permitió observar que los factores "especie", "plano de corte de la madera", "tipo de clavo" y la interacción de "especie x tipo de clavo", resultaron ser significativos en la resistencia a la extracción de clavos (Tabla 1).

En lo que respecta al factor "especie", se observaron diferencias de hasta 44% en la resistencia a la extracción de clavos, resultando la madera de *P. engelmannii* la de mayor resistencia con 61.89 kgf, la cual resultó ser estadísticamente diferente a las demás especies evaluadas.

En lo referente al factor "plano de la madera", se observó un comportamiento estadísticamente similar en la resistencia de los planos radial y tangencial con valores promedio a los 50 kgf, que fueron a su vez 10% más resistentes que el plano transversal.

La resistencia a la extracción de los clavos de 3 y 3.3 mm de diámetro resultó ser estadísticamente igual con un promedio de 53 kgf, pero estadísticamente diferente a la resistencia de los clavos de 2.5 mm, los que resultaron con 28% menor resistencia a la exhibida por los demás tipos de clavo.

La interacción "especie" x "tipo de clavo" mostró diferencias estadísticas en el esfuerzo a la extracción de clavos de hasta 58%, motivado principalmente por el efecto de la especie (Tabla 2).

Respecto a los tornillos, sólo el factor "especie" resultó ser significativo al esfuerzo de extracción, de tal forma que los planos de la madera no ejercieron una

Tabla 1. Análisis de varianza para la resistencia a la extracción de clavos

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculada	Significancia
Especie (sp)	3	198244.70	66081.57	245.15	0.0001*
Plano de corte de la madera (PI)	2	8425.52	4212.76	15.63	0.0001*
Tipo de clavo (CI)	2	69985.30	34992.65	129.81	0.0001*
SpxPI	6	3042.50	507.08	1.88	0.0807 ns
SpxCI	6	18717.48	3119.58	11.57	0.0001*
PIxCI	4	972.22	243.06	0.90	0.4621 ns
SpxPIxCI	12	1363.19	113.60	0.42	0.9557 ns

*Significativo al 5%. ns=No significativo.

Tabla 2. Resistencia mecánica a la extracción de clavos

Variable	Resistencia (kgf)*	Desviación Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor especie				
<i>Pinus engelmannii</i>	61.89 a	22.63	9.12	174.31
<i>Pinus douglasiana</i>	57.36 b	21.46	20.70	148.41
<i>Pinus herrerae</i>	38.65 c	15.49	7.62	119.31
<i>Pinus leiophylla</i>	34.49 d	11.28	7.09	78.18
Factor plano de corte de la madera				
Plano radial	50.35 a	23.02	9.35	174.31
Plano tangencial	49.20 a	21.30	7.09	145.77
Plano transversal	44.74 b	20.41	7.62	148.41

Continuación de Tabla 2

Factor tipo de clavo				
Clavo de 3.3 mm	53.33 a	24.94	12.60	174.31
Clavo de 3 mm	52.71 a	18.97	20.11	114.89
Clavo de 2.5 mm	38.24 b	17.02	7.09	118.67
Interacción especie con tipo de clavo				
<i>P. engelmannii</i> con clavo de 3.3 mm	74.69 a	23.79	26.29	174.31
<i>P. engelmannii</i> con clavo de 3 mm	66.64 b	17.47	33.13	104.28
<i>P. douglasiana</i> con clavo de 3.3 mm	61.97 b	17.88	27.21	114.89
<i>P. douglasiana</i> con clavo de 3 mm	60.38 b	24.27	22.87	148.41
<i>P. douglasiana</i> con clavo de 2.5 mm	49.73 c	19.80	20.70	118.67
<i>P. engelmannii</i> con clavo de 2.5 mm	44.34 cd	13.22	9.12	84.30
<i>P. herrerae</i> con clavo de 3 mm	43.26 cde	12.27	21.71	71.30
<i>P. herrerae</i> con clavo de 3.3 mm	41.45 de	17.69	12.60	119.31
<i>P. leiophylla</i> con clavo de 3 mm	38.98 de	10.55	20.11	69.50
<i>P. leiophylla</i> con clavo de 3.3 mm	36.80 ef	10.41	14.06	78.18
<i>P. herrerae</i> con clavo de 2.5 mm	31.22 fg	13.25	7.62	71.75
<i>P. leiophylla</i> con clavo de 2.5 mm	27.68 g	9.57	7.09	60.05

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, Tukey $\alpha=0.05$. (Valor ajustado al 12% de contenido de humedad).

influencia en la extracción de tornillos en la madera de las especies estudiadas (Tabla 3).

Se encontró una diferencia en la resistencia a la extracción de tornillos de hasta 23% entre *P. douglasiana* y *P. leiophylla*, mientras que entre *P. herrerae* y *P. engelmannii* resultó ser estadísticamente igual (Tabla 4).

DISCUSIÓN

La Norma Técnica Complementaria para el Diseño y Construcción de Estructuras de Madera (NTC-EM) (GDF, 2004) establece valores de resistencia lateral de

35 kgf para los clavos de alambre de 2.7 x 51 mm en madera de coníferas, de 48 kgf para clavos de 3.1 x 64 mm y de 60 kgf para los de 3.4 x 76 mm. De acuerdo con lo anterior, sólo la madera de *P. douglasiana* y *P. engelmannii* cumplen en forma adecuada con la resistencia exigida para estos tipos de clavo, mientras que *P. herrerae* y *P. leiophylla* quedan fuera de norma al mostrar valores inferiores a los requeridos.

Aytekin (2008) reportó valores de extracción para clavos de 2.5 x 50 mm de 65.70 kgf en la madera de *Pinus pinea* y 55.55 kgf en *Pinus nigra*, de la región del Mar Negro en Turquía; mientras que en la región de El Salto, Durango, la máxima resistencia a la extracción

Tabla 3. Análisis de varianza para la resistencia a la extracción de tornillos

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculada	Significancia
Especie (sp)	3	309865.01	103288.34	22.62	0.0001*
Plano de corte de la madera (PI)	2	5761.08	2880.54	0.63	0.5327 ns
SpxPI	6	22863.79	3810.63	0.83	0.5437 ns

*Significativo al 5%. ns= No significativo.

Tabla 4. Resistencia mecánica a la extracción de tornillos

Variable	Resistencia (kgf)*	Desviación Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor especie				
<i>Pinus douglasiana</i>	315.09 a	86.07	169.95	522.27
<i>Pinus herrerae</i>	276.32 b	64.10	158.51	460.21
<i>Pinus engelmannii</i>	274.27 b	67.56	168.42	467.75
<i>Pinus leiophylla</i>	243.47 c	46.03	146.08	364.77

*Medias con la misma letra entre especies no son significativamente diferentes, Tukey $\alpha=0.05$. (Valor ajustado al 12% de contenido de humedad).

de clavos de 2.5 x 50 mm la presentó la madera de *P. douglasiana* con 49.73 kgf, donde fueron respectivamente 24% y 10% menor a la de las especies de referencia. En otros géneros, Crespo, Jiménez, Suatunce, Law y Sánchez (2008) determinaron la resistencia para la extracción de clavos de 2.5 x 50 mm en la madera de *Tectona grandis* de la localidad de Quevedo y Balzar, Ecuador, en 78.40 kgf. Por su parte, Camarena (2011) estimó la resistencia a la extracción de clavos de 2.5 mm de diámetro en la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* del estado de Puebla, México, en 119.84 kgf. Los valores en ambos estudios son evidentemente superiores a los encontrados en las especies de pino evaluadas en el presente trabajo, debido quizá a las diferencias en la densidad básica de la madera, por lo que esta situación bien puede derivar en un nuevo análisis para conocer el efecto de la densidad básica de la madera en la resistencia a la extracción de clavos.

En relación con los tornillos, la Norma Técnica Complementaria para el Diseño y Construcción de Estructuras de Madera (NTC-EM) (GDF, 2004) establece valores de resistencia por pernos de 3.8 mm de grosor específico para cargas paralelas y perpendiculares a la fibra de 146 y 86 kgf, respectivamente, lo cual cumple satisfactoriamente las cuatro especies de pino al exhibir valores mínimos de 243.47 kgf.

Akyildiz y Malkoçoglu (2001) realizaron un estudio para determinar el esfuerzo mecánico a la extracción de tornillos de 4.5 mm de diámetro y 40 mm de longitud hincados 26 mm en el plano tangencial de la madera de *Pinus sylvestris* de los distritos forestales de Gümüşhane, Trabzon y Artvin, Turquía. Encontraron para un contenido de humedad de 12% valores de resistencia de 245 kgf. Tres de las cuatro especies de pino evaluadas en el presente estudio presentan de 10% a 22% mayor resistencia que la madera de *Pinus sylvestris* del estudio de referencia para el mismo

contenido de humedad, a excepción de *P. leiophylla* que resultó con valores de resistencia inferiores.

Aytekın (2008) encontró una resistencia de 346.70 a 433.90 kgf para tres tipos de tornillos de 4 x 50 mm en la cara radial de *Pinus pinea* L. y de 300.15 a 392.95 kgf en *Pinus nigra* Arnold del occidente del Mar Negro en Turquía, los cuales presentaron una resistencia de extracción mayor a la exhibida por las especies del presente análisis, excepto para los tornillos identificados como *smart* utilizados en *Pinus nigra*, que registraron 300.15 kgf por 315.09 kgf de los tornillos para madera y tablaroca de 4 x 50 utilizados en *P. douglasiana* de la región de El Salto, Durango. En el plano tangencial, el mismo autor obtuvo valores de 315.50 a 444.10 kgf en *P. pinea* y de 315.95 a 391.60 kgf en *P. nigra*, los cuales superan a los encontrados en las especies de esta investigación.

Las fuentes de las diferencias encontradas en los valores de resistencia son abordados por Forest Products Laboratory FPL (1965) y Soltis (1999), quienes coinciden en que la resistencia de un clavo o tornillo a ser extraído de una pieza de madera depende de la densidad de la madera, del diámetro del elemento y de la profundidad de penetración, así como del tiempo de permanencia del elemento en la madera, el estado de la superficie referente a la presencia de una película de aceite o resina que queda en el vástago después de su fabricación para aumentar la fricción en la madera y por tanto la fuerza de extracción; o bien, de los efectos de la corrosión cuando los elementos se han almacenado en condiciones adversas y posiblemente a los cambios de humedad que registra la madera.

CONCLUSIONES

En términos generales, se observaron diferencias marcadas en la resistencia a la extracción de clavos y tornillos atribuibles a la especie; aunque la resistencia

lateral entre los planos radial y tangencial resultó ser estadísticamente igual, los valores mínimos de resistencia fueron exhibidos en el plano transversal de la madera. No se observó una diferencia marcada entre la resistencia a la extracción de clavos de 3 y 3.3 mm de diámetro, por lo que su uso puede ser indistinto para obtener resistencias de extracción iguales. *Pinus engelmannii* y *P. douglasiana* representan una buena opción si se quiere aprovechar la mayor resistencia de su madera a la extracción de clavos y tornillos; sin embargo, no importando la especie maderable, se recomienda utilizar los planos laterales para obtener las mayores resistencias a la extracción.

En cuanto a la extracción de tornillos, la mayor resistencia a la extracción se observó en la madera de *P. douglasiana*, seguido por *P. herrerae* y *P. engelmannii*, por lo que se recomienda su utilización para garantizar esfuerzos de 315.09 a 274.27 kgf.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de El Salto el financiamiento al proyecto de investigación "EST-MCDF-2009-103 Estudio sobre la resistencia de los elementos de unión en la madera de seis especies de importancia forestal de la región de El Salto, Durango", del cual se originó el presente análisis.

LITERATURA CITADA

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *NBR 7190: Projetos de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro. 107 p., 1997.
 - AKYILDIZ, M. H. y MALKOÇOĞLU, A. *Wood screw withdrawal resistance of some important tree species growing in eastern Blacksea region*. *Artvin Coruh University Faculty of Forestry Journal (ACU Fac For J)*, 1: 54-60, 2001.
 - ANANÍAS, R. *Física de la madera*. Universidad del Bio-Bio, Departamento de Ingeniería en Maderas. Concepción, Chile. 41 p., 2004.
 - ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS). *Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood*. ASTM D1761-88., Philadelphia, PA, USA. 1990.
 - AYTEKIN, A. *Determination of screw and nail withdrawal resistance of some important wood species*. *International Journal of Molecular Sciences*, 9: 626-637, 2008.
 - CAMARENA, T. J. C. *Caracterización físico-mecánica de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius**. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Madera. 57 p., 2011.
 - CRESPO, G. R., JIMÉNEZ, E., SUATUNCE, P., LAW, G., y SÁNCHEZ, C. *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L. F) de Quevedo y Balzar*. *Ciencia y Tecnología*, 1: 55-63, 2008.
 - FLORES, W. P. F., YAMAJI, F. M., VENDRASCO, L. y PIRES, V. C. *Ensaio de arrancamento de pregos em madeira sólida*. Congresso de Iniciação Científica, 17, São Carlos. Anais de Eventos da UFSCar. 5:611. 2009.
 - FPL (FOREST PRODUCTS LABORATORY). *Nail-withdrawal resistance of American woods*. U.S. Department of Agriculture U. S. Forest Service. Research Note FPL-093. 6 p., 1965.
 - GDF (GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL). *Gaceta Oficial del Distrito Federal. Normas Técnicas Complementarias para el diseño y Construcción de Estructuras de Madera (NTC-EM)*. Decimocuarta época. Tomo I 103 Bis. 54-87 pp., 2004.
 - INCOTEC (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN) *Norma Técnica Colombiana NTC-951. Maderas. Método de extracción de clavos*. Bogotá, Colombia. 1975.
 - JARAMILLO, J. J. Los clavos: Elementos de unión tan elementales como esenciales. *Revista MM*, Edición 48:1-5, 2005.
 - LISKA, J. A. *Sección 4. Problemas relacionados con el fomento del uso de la madera en la construcción y posibles soluciones. Parte I. Aspectos técnicos*. *Revista Unasylva*, 25(101), 1971.
 - LOMAGNO, J. Una propiedad de la madera para el cálculo de uniones. *Patagonia Forestal*: 14(1): 13-16, 2008.
 - POBLETE, H., PEREDO, M. e INZUNZA, L. *Resistencia a la extracción de tornillos en tableros de partículas fabricados con desechos de especies nativas*. *Bosque*, 15(2): 77-80, 1994.
 - RAMMER, D. R. y ZELINKA, L. *Review of end grain nail withdrawal research*. *General Technical Report FPL-GTR-151*. Madison, Wisconsin, EE UU: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 28 pp., 2004.
 - SOLTIS, L.A. *Fastenings. Wood handbook: Wood as an engineering material*. Forest Products Laboratory. General Technical Report GTR-113. Madison, Wisconsin, EE UU, 29 pp., 1999.
- De páginas electrónicas**
- DI RIENZO, J. A., CASANOVES, F., BALZARINI, M. G., GONZÁLEZ, L., TABLADA, M. y ROBLEDO, C. W. *InfoStat versión 2008*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>. 2008.

Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz

Potential impacts of climate change on maize production

Ramiro Ahumada Cervantes^{1*}, Gilberto Velázquez Angulo²,
Edith Flores Tavizón², Jaime Romero González²

Ahumada Cervantes, R., Velázquez Angulo, G., Flores Tavizón, E., Romero González, J.,
Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y Ciencia*
de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Número 61: 48-53, enero-abril 2014.

RESUMEN

Los efectos del cambio climático (CC) ya se están observando a nivel mundial. Se estima que como consecuencia de la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, es posible que se presente un aumento de la temperatura y mayor variabilidad de la precipitación que afecta la agricultura y con ello, la seguridad alimentaria del planeta. El cultivo de maíz podría ver disminuida seriamente su producción debido a los efectos adversos del CC. En el presente trabajo se expone una revisión de los estudios realizados con este cultivo; se encuentra que en la mayoría de las regiones del mundo el rendimiento de maíz disminuirá para finales del Siglo XXI bajo diferentes escenarios de emisiones de GEI; principalmente, por incremento de la temperatura y disminución de la precipitación. Estos efectos adversos podrían amortiguarse con el mejoramiento constante de la tecnología agrícola y con la adopción de medidas de adaptación eficientes.

Palabras clave: cambio climático, maíz, seguridad alimentaria, agricultura, temperatura, precipitación.

Keywords: climate change, maize, food security, agriculture, temperature, precipitation.

Recibido: 25 de abril de 2013, aceptado: 26 de febrero de 2014

¹ Doctorado en Ciencias en Ingeniería, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

² Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

* Autor para correspondencia: ramiroac2002@yahoo.com.mx

ABSTRACT

The effects of climate change (CC) are already being observed worldwide. It is estimated that in consequence of the accumulation of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere, an increase in temperature and greater variability of the precipitation affecting agriculture and food security may occur. Maize production may be diminished due to adverse effects of CC. This review study indicates that in most regions of the world, maize yield will be reduced by the end of the XXI century, under different scenarios GHG, mainly by increasing temperature and decreasing precipitation. These adverse effects could be attenuated by constant improvement of agricultural technology and the adoption of effective adaptation measures.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) que actualmente experimenta el planeta es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, como consecuencia de la alteración en la composición de la atmósfera, en conjunto con la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (CMNUCC, 1992). El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar (IPCC, 2007). Dependiendo del tipo de desarrollo que se adopte, para finales del presente siglo habrá un aumento de la temperatura promedio del planeta de entre 1.1°C y 6.4°C (IPCC, 2007; Conde et al., 2008).

A consecuencia de los cambios en la temperatura, es muy probable que la precipitación aumente en latitudes altas, y disminuya en la mayoría de las regiones subtropicales. La agricultura, que en gran medida depende de las variaciones de temperatura y precipitación, resultará afectada en latitudes medias (IPCC, 2007), lo que resalta la necesidad de evaluar el impacto real del CC en el sector, ya que los escenarios de crecimiento de la población y los patrones de consumo de alimentos indican que la producción agrícola tendrá que aumentar 70% para el año 2050, con el fin de satisfacer la demanda mundial de alimentos (FAO, 2013). Sin embargo, el impacto del CC podría limitar esta producción y amenazar la seguridad alimentaria del planeta, definida como una situación que existe cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades y preferencias alimenticias para llevar una vida activa y sana (FAO, 2008).

En países como México, el maíz está muy ligado a la cultura y a los hábitos alimenticios, además, es el cereal más utilizado para la alimentación en el planeta (Kato, Mapes y Mera, 2009; Arlsan, 2011), y es un recurso genético de suma importancia para la seguridad alimentaria (Ureta, Martínez, Perales y Álvarez, 2012). En total, 59 razas y miles de variedades han sido reconocidas en México, estas razas se han adaptado a las diferentes condiciones climáticas y con diversos usos (Ureta et al., 2012). Sin embargo, las proyecciones del clima futuro obligan a estudiar el posible comportamiento de este cultivo bajo las nuevas condiciones, por tal razón el objetivo del presente trabajo es analizar el impacto potencial del CC en la producción de maíz.

Los factores ambientales y su relación con el cultivo de maíz

La disponibilidad y captación de la radiación solar, el agua y los nutrientes son factores básicos para el crecimiento de la planta de maíz y su supervivencia. El incremento de temperatura provoca problemas en la polinización (Kumar et al., 2011; Ojeda, Sifuentes, Iñiguez y Montero, 2011), incremento de la respiración, disminución de la fotosíntesis (Ramos, Castro, López, Briones y Huerta, 2009; Ojeda et al., 2011), reducción de las etapas de desarrollo y en consecuencia la disminución del ciclo fenológico del maíz (Ramos et al., 2009; Yuan, Enli, Xiaoguang y Jing, 2010; Kumar et al., 2011; Ojeda et al., 2011; Zarazúa, 2011); mientras que temperaturas bajas detienen o reducen su crecimiento y desarrollo (Stöckle et al., 2010).

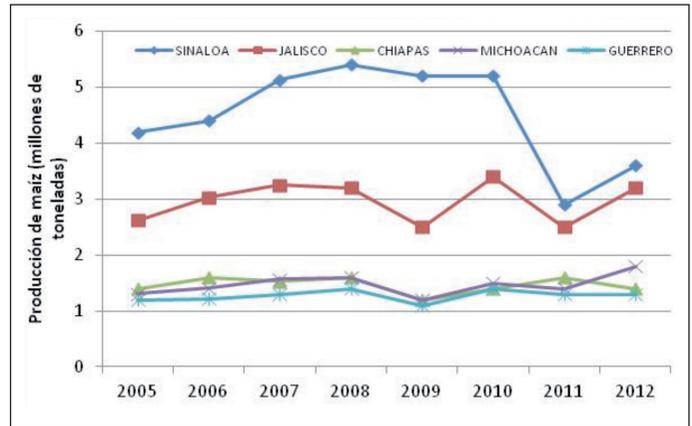


Figura 1. Estados con mayor producción de maíz blanco en el periodo 2005-2012. Elaborado con información del SIAP (2013).

El estrés hídrico afecta negativamente procesos fisiológicos como el crecimiento celular, la síntesis de proteínas, el cierre estomático, la asimilación de dióxido de carbono (CO_2), la respiración, entre otros (Azcón y Talón, 2008). Las plantas terrestres se pueden clasificar en tres tipos fotosintéticos: C_3 , C_4 y CAM. La vía C_4 involucra mecanismos especializados que permiten a las plantas adaptarse a zonas donde existe una limitada disponibilidad de agua, ya que evolutivamente han desarrollado estrategias para reducir el proceso de fotorrespiración. El maíz es el cultivo C_4 más importante del mundo (Cody, Strellner y Leakey, 2012). Autores como Hatfield et al. (2011) e Izaurre et al. (2011), estimaron que en especies C_4 , al incrementar al doble el contenido de CO_2 , el rendimiento se incrementa alrededor de 10%; sin embargo, algunas investigaciones en cultivos de maíz han concluido que este beneficio es casi nulo (Stöckle et al., 2010; Sindhu, 2011; Cody et al., 2012).

Panorama mundial del efecto del cambio climático en la producción de maíz

Los efectos del CC en cultivos agrícolas han sido ampliamente estudiados, sobre todo en cereales como maíz, trigo y arroz. Las proyecciones de rendimiento de cultivos se realizan para diferentes periodos de tiempo; corto, mediano y largo plazo y bajo diferentes escenarios de emisiones de GEI (A_2 corresponde a un escenario de emisiones altas, B_2 a uno de emisiones medio bajas y B_1 a uno de emisiones bajas), los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro (IPCC, 2000). El maíz es el cereal más utilizado para la alimentación en el planeta (Kato et al., 2009; Arlsan, 2011) y, por tanto, de los más estudiados. En este sentido, Lobell

et al. (2008) menciona que para el año 2030 el rendimiento de maíz en el sur del Sahara se reducirá 30%, en comparación con la producción de 1990. En Sudáfrica, cada disminución del 1% en la precipitación es probable que conduzca a una disminución de 1.1% en la producción de este cultivo (Blignaut, Ueckermann y Aronson, 2009). En Egipto, El Afandi, Khalil y Ouda (2010) proyectaron una reducción del rendimiento de maíz de alrededor del 56% para el año 2038, bajo el escenario A_2 .

El CC puede inducir para 2050 una reducción del 13% en el rendimiento neto de maíz en China, sin el efecto de fertilización por CO_2 según Xiong et al. (2008); mientras que Tao y Zhang (2011) reportan disminución de hasta 32% en el rendimiento de maíz irrigado y 33.7 en maíz de temporal, con un aumento de temperatura de $3^\circ C$; si se agrega el efecto de fertilización por CO_2 la disminución es de 26.6% y 25.9%, respectivamente. En la India Byjesh, Kumar y Aggarwal (2010) proyectan para 2080, bajo el escenario A_2 , que el rendimiento del maíz se reduzca hasta 35% en la meseta sur, mientras que en invierno la reducción sería de hasta 55% en las llanuras medias del Indo-Ganges.

En 2003, las temperaturas medias de Europa aumentaron $6^\circ C$ más de lo normal. Esto dio como resultado que el rendimiento del maíz en Italia disminuyera 36% (FAO, 2008). Un ejemplo en el aumento del rendimiento de maíz es Francia, debido a la combinación de tecnologías mejoradas, variedades de cultivos más resistentes y productivos, y a los efectos de la fertilización de CO_2 . Hawkins et al. (2013) en su estudio concluyeron que el rendimiento aumentó gradualmente de 0.25 kg/m^2 a 0.97 kg/m^2 en los últimos 40 años; en el periodo 1991-2010, el rendimiento promedio de maíz fue de 0.92 kg/m^2 y para el periodo 2016-2035 proyectan que la producción podría oscilar de 0.88 kg/m^2 a 0.93 kg/m^2 , si la tecnología se mantiene al mismo nivel.

En los Estados Unidos el rendimiento de maíz para 2070-2099 disminuirá 43% a nivel nacional, bajo el escenario B_2 , y 79% bajo el escenario A_2 , sin los efectos de fertilización de CO_2 (Schlenker y Roberts, 2008). Para el sureste habrá un declive en la producción de 1% a 20% en aproximadamente el 80% de la región (Chhetri, Easterling, Terando y Mearns, 2010) y en California, Medellín, Howitt, MacEwan y Lund (2011) proyectaron para el año 2050 una reducción de 22.9% en la producción de este mismo cultivo. En contraste, en Brasil se espera que los rendimientos

de maíz aumenten 25% bajo las nuevas condiciones climáticas que se proyectan para la región en el futuro (UNDP, 2007/2008).

Efectos del cambio climático en el cultivo de maíz en México

México tiene un territorio nacional de 198 millones de hectáreas, de las cuales cerca de 30 millones son tierras de cultivo (FAO, 2009). En la actualidad 77% de la superficie territorial del país es apto para el cultivo de por lo menos una raza de maíz. Sin embargo, las proyecciones para 2030 indican que 43 de 47 razas presentes en México mostraron una disminución en sus áreas de distribución potencial y cuatro presentaron un incremento; mientras que para 2050, 44 redujeron sus áreas y sólo 3 las aumentaron, esto bajo el escenario A_2 . Con el escenario B_1 , los incrementos se detectaron en 6 razas en 2030 y en 4 en 2050 (Ureta et al., 2012). Ruiz et al. (2011) reportan reducción de la superficie con condiciones agroclimáticas óptimas para la producción de maíz en las zonas de trópico, subtropical y transicional y un incremento de esta superficie en valles altos y valles muy altos, según sus proyecciones para los periodos 2011-2020, 2031-2040 y 2051-2060.

La Figura 1 muestra los estados con mayor producción de maíz blanco durante el periodo 2005-2012, en donde Sinaloa es el principal productor, seguido de Jalisco. Bajo este escenario, es preponderante que se realicen los estudios necesarios de vulnerabilidad y adaptación a los efectos del CC, principalmente en estos estados.

En este orden de ideas, se tiene para Jalisco un modelaje al año 2050 de Tinoco, Gómez y Monterroso (2011), en el cual se proyecta un incremento en la superficie no apta para el cultivo de maíz de 90.8% en el peor de los escenarios y de 63.6% en el escenario más benévolo. Las zonas centro, norte y este del estado son las que registran los cambios de mayor magnitud. Por su parte Zarazúa, Ruiz, González, Flores y Ron (2011) mencionan que bajo el escenario A_2 , ciclo primavera-verano en la región Ciénaga de Chapala, Jalisco, para finales del Siglo XXI se tendrán incrementos considerables en temperaturas máximas, medias y mínimas e incremento del número de días con temperaturas mayores al umbral del cultivo de maíz, lo que provoca que las plantas experimenten mayores lapsos de tiempo bajo estrés térmico, con un acortamiento del ciclo fenológico del cultivo y con disminución en la demanda hídrica de las plantas.



Figura 2. Cultivos de maíz ciclo otoño-invierno 2013-2014 en el ejido El Amole, Guasave, Sinaloa. Imagen de Ramiro Ahumada Cervantes.

Magaña (2010) reporta que algunas zonas del centro de Guanajuato y Querétaro perderán posibilidades de mantener cultivos de maíz de temporal, debido a una reducción de 5% a 10% en la precipitación para el periodo 2030-2050. En Durango, Sánchez et al. (2012) indican que bajo condiciones de CC al año 2020 habrá un incremento en la precipitación, cuyo impacto se verá reflejado en el aumento del rendimiento del maíz en 0.3 t ha^{-1} , siempre y cuando se realice un ajuste en las fechas de siembra para aprovechar al máximo la presencia de lluvias. Por último, las proyecciones para finales del presente siglo en el Distrito de Riego 075 (Río Fuerte) en Sinaloa (Figura 2), indican reducción del ciclo fenológico del maíz provocando la disminución en su rendimiento (Ojeda et al., 2011).

Análisis de los impactos del cambio climático en el cultivo de maíz

El incremento de la temperatura es uno de los principales factores que influirán en el rendimiento del maíz a futuro; como se mencionó anteriormente, esta condición afecta su fisiología, acelera las etapas de desarrollo del cultivo, reduce su ciclo fenológico y, por tanto, su rendimiento. Estos aspectos han sido citados y documentados en la mayoría de las investigaciones descritas líneas arriba (Byjesh et al., 2010; El Afandi et al., 2010; Magaña, 2010; Ruiz et al., 2011; Zarazúa et al., 2011; Hawkins et al., 2013). Las mayores afectaciones se presentarán en regiones agroecológicas localizadas en latitudes medias (IPCC, 2007). Debido a las altas temperaturas las regiones semiáridas y

áridas mostrarán aumento de la evapotranspiración (Ojeda et al., 2011; Ruiz et al., 2011) y menor humedad del suelo (Magaña, 2010; Ruiz et al., 2011; Tinoco et al., 2011) con estación de crecimiento más corta y disminución de las áreas aptas para el cultivo. Sin embargo, en latitudes templadas el incremento de temperatura generará aumento de la superficie agrícola, con periodos de crecimiento más largos y mayor rendimiento, siempre y cuando el aumento de temperatura no sea mayor a 3°C (IPCC, 2007). En valles altos, la reducción del periodo libre de heladas y el aumento de la temperatura incrementarán la superficie óptima para maíz, así como su rendimiento (Ruiz et al., 2011).

El aumento de la temperatura combinado con el del CO_2 podría incrementar las plagas, malezas y enfermedades; sin embargo, sus interacciones aún no están bien entendidas. Dichos aspectos son mencionados por autores como: IPCC (2007) y Ruiz et al. (2011); desafortunadamente, ningún artículo incluido en la presente revisión analiza el tema a detalle.

Diversos autores señalan que la agricultura de temporal es más vulnerable a los cambios en las condiciones climáticas que la agricultura de riego (Blignaut et al., 2009; Sánchez et al., 2012; Hawkins et al., 2013). Una razón por la que el rendimiento de maíz se ha incrementado en los últimos años, es precisamente debido al aumento de las zonas agrícolas bajo riego (Byjesh et al., 2010; Hawkins et al., 2013). Sin embargo, el maíz en condiciones de riego podría verse afectado a futuro por el CC debido a la disminución de agua en los embalses, ya que la agricultura es la actividad que consume mayor cantidad de agua en el planeta (Blignaut et al., 2009; Sánchez et al., 2012). En México, aproximadamente el 81% de la superficie sembrada con maíz es de temporal y su siniestralidad es cinco veces mayor que la de riego (SIAP, 2013), esta situación demuestra que el maíz de temporal es más vulnerable a la variabilidad en las condiciones climáticas.

Entre las medidas de adaptación más utilizadas y/o recomendadas por los autores consultados se encuentran: el uso de nuevas variedades adaptadas a las nuevas condiciones climáticas (Byjesh et al., 2010; Yuan et al., 2010; Ojeda et al., 2011; Tao y Zhang, 2011); movimiento en las fechas de siembra, adelantándola o atrasándola (Byjesh et al., 2010; El Afandi et al., 2010; Tao y Zhang, 2011; Sánchez et al., 2012) y ajustes en el calendario de riego (El Afandi et al., 2010; Tao y

Zhang, 2011). Todas las medidas aplicadas resultaron eficientes para mantener el rendimiento del cultivo de maíz en condiciones de CC.

CONCLUSIONES

En los últimos 50 años la producción de maíz se incrementó debido al mejoramiento de la tecnología agrícola y al aumento de la agricultura de riego. Los mayores impactos del incremento de la temperatura y de la variabilidad de la precipitación en el cultivo de maíz son la reducción del rendimiento, por la afectación en las etapas de desarrollo del cultivo, así como la disminución de las áreas aptas para el desarrollo del cultivo bajo condiciones de temporal. A corto plazo los efectos del CC son mínimos; existen regiones donde la producción podría mantenerse

o incrementarse (latitudes templadas y valles altos). Otras afectaciones podrían derivarse del incremento de plagas, malezas y enfermedades; sin embargo, sus interacciones aún no están bien entendidas. La implementación de medidas de adaptación ha resultado ser efectiva para mantener la productividad del maíz en condiciones de CC. En el caso de México, Jalisco es de los estados en los que más se han estudiado los efectos del CC en la producción de maíz de temporal y para Sinaloa, que es el estado con mayor producción de maíz blanco en condiciones de riego, sólo se encontró un estudio sobre esta temática, por lo que es preponderante que se desarrollen más estudios al respecto por su importancia a nivel nacional en la producción de maíz, que es base de la alimentación de los mexicanos.

LITERATURA CITADA

- ARLSAN, A. Shadow vs. market prices in explaining land allocation: subsistence maize cultivation in rural Mexico. *Food Policy*, 36, 606-614, 2011.
- AZCÓN, J. y TALÓN, M. *Fundamentos de fisiología vegetal*. (2a. ed.). España: McGraw-Hill, 651pp., 2008.
- BLIGNAUT, J., UECKERMANN, L., y ARONSON, J., Agriculture production's sensitivity to changes in climate in South Africa. *South African Journal of Science*, 105(1/2): 61-68, 2009.
- BYJESH, K., KUMAR, S., y AGGARWAL, P. Simulating impacts, potential adaptation and vulnerability of maize to climate change in India, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15, 413-431, 2010.
- CODY, R. J., STRELLNER, R. S., y LEAKEY, A. B. Impairment of C_4 photosynthesis by drought is exacerbated by limiting nitrogen and ameliorated by elevated $[CO_2]$ in maize. *Journal of Experimental Botany*, 62(11): 3235-3246, 2012.
- CHHETRI, N., EASTERLING, B., TERANDO, W., y MEARN, L. Modeling path dependence in agricultural adaptation to climate variability and change. *Annals of The Association of American Geographers*, 100(4): 894-907, 2010.
- CONDE, C., GAY, C., ESTRADA, F., FERNÁNDEZ, A., LÓPEZ, F., LOZANO, M. et al. *Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional*. Primera Versión. México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 104pp., 2008.
- EL AFANDI, G., KHALIL, A., y OUDA, S. Using irrigation scheduling to increase water productivity of wheat-maize rotation under climate change conditions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(3): 474-484, 2010.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). *Climate change and food security: A framework document*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). *La FAO en México, más de 60 años de cooperación 1945-2009*. México: Representación de la FAO en México, 368 pp., 2009.
- HATFIELD, J. L., BOOTE, K. J., KIMBALL, B. A., ZISKA, L. H., IZAURRALDE, R. C., ORT, D. et al. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal*, 103(2): 351-370, 2011.
- HAWKINS, E., RICKER, T., CHALLINOR, A., FERRO, C., HO, C., y OSBORNE, T. Increasing influence of heat stress on French maize yields from the 1960s to the 2030s. *Global Change Biology*, 19(3): 937-947, 2013.
- IPCC (GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). *Escenario de Emisiones: Resumen para responsables de políticas*. Ginebra, Suiza, 2000.
- IPCC (GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). *Cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático*. Informe de síntesis. Ginebra, Suiza, 104 pp., 2007.
- IZAURRALDE, R. C., THOMSON, A. M., MORGAN, J. A., FAY, P. A., POLLEY, H. W., y HATFIELD, J. L. Climate impacts on agriculture: implications for forage and rangeland production. *Agronomy Journal*, 103(2): 371-381, 2011.
- KATO, T. A., MAPES, C., y MERA, L. M. *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. México: Universidad

- Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2009.
- KUMAR, S., AGGARWAL, P., RANI, S., JAIN, S., SAXENA, R., y CHAUHAN, N. Impact of climate change on crop productivity in Western Ghats, Coastal and Northeastern Regions of India. *Current Science*, 101(3): 332-341, 2011.
 - LOBELL, D., BURKE, M., TEBALDI, C., MASTRANDREA, M. D., FALCON, W. P., y NAYLOR, R. L. *Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030*. *Science*, 319(5863): 607-610, 1 February 2008.
 - MAGAÑA, V. *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*. México: INE-UNAM, 89pp., 2010.
 - MEDELLÍN, J., HOWITT, R., MACEWAN, D., y LUND, J. Economic impacts of climate-related changes to California agriculture. *Climatic Change*, 109(1): 387-405, 2011.
 - OJEDA, W., SIFUENTES, E., ÍÑIGUEZ, M., y MONTERO, M. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45(1): 1-11, 2011.
 - RUIZ, J. A., MEDINA, G., MANRÍQUEZ, J. D., y RAMÍREZ, J. L. *Evaluación de la vulnerabilidad y propuestas de medidas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático*. Jalisco, México: INIFAP-INE, 108 pp., 2010.
 - RUIZ, J., MEDINA, G., RAMÍREZ, J., FLORES, H., RAMÍREZ, G., MANRÍQUEZ, J. et al. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Esp. Núm. 2, 309-323, 2011.
 - SÁNCHEZ, I., INZUNZA, M., CATALÁN, E., GONZÁLEZ, J., GONZÁLEZ, G., y VELÁSQUEZ, M. Variabilidad climática y productividad agrícola en zonas con errático régimen pluvial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4): 805-811, 2012.
 - SINDHU, J. S. Potential impacts of climate change on agriculture. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(3): 348-353, 2011.
 - STÖCKLE, C., NELSON, R., HIGGINS, S., BRUNNER, J., GROVE, G., BOYDSTON, R. et al. Assessment of Climate Change Impact on Eastern Washington Agriculture. *Climatic Change*, 102(1-2): 77-102, 2010.
 - TAO, F. y ZHANG, Z. Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China. *Climatic Change*, 105(3-4): 409-432, 2011.
 - TINOCO, J., GÓMEZ, J., y MONTERROSO, A. Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el Estado de Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 29(2): 161-168, 2011.
 - UNDP (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAM). *Human Development Report. Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World*. 2007/2008.
 - URETA, C., MARTÍNEZ, E., PERALES, H. R., y ÁLVAREZ, E. R. Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico. *Global Change Biology*, 18(3): 1073-1082, 2012.
 - XIONG, W., CONWAY, D., XU, Y. L., JINHE, J., JU, H., y LIN, E. D. The Impacts of Climate Change on Chinese Agriculture. In *Phase II National level study: the Impacts of Climate Change on Cereal Production in China*. Final Report. 2008.
 - YUAN, L., ENLI, W., XIAO GUANG, Y., y JING, W. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s. *Global Change Biology*, 16(8): 2287-2299, 2010.
 - ZARAZÚA, P. *Evaluación del cambio climático y sus impactos sobre los cultivos de trigo, maíz y agave de la Región Ciénega de Chapala (análisis retrospectivo y análisis prospectivo)*. Tesis doctoral. Jalisco, México: Universidad de Guadalajara-CUCBA, 188 pp., 2011.
 - ZARAZÚA, P., RUIZ, J., GONZÁLEZ, D., FLORES, H., y RON, J. Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en la Ciénega de Chapala, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Esp. Núm. 2, 351-363, 2011.
- ### De páginas electrónicas
- CMNUCC (CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). 1992. De: http://unfccc.int/portal_espanol/items/3093.php. 20 ene. 2013.
 - FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). *Climate-Smart Agriculture*. De: http://www.fao.org/index_es.htm. 12 feb. 2013.
 - RAMOS, V. H., CASTRO, S., LÓPEZ, J. A., BRIONES, F., y HUERTA, J. Impacto del estrés hídrico y la temperatura alta sobre plantas cultivadas: el caso del maíz (*Zea mays* L.) en Tamaulipas. *Revista Digital Universitaria*. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2009. De: <http://www.turevista.uat.edu.mx>. 20 ene. 2013.
 - SCHLENKER, W. y ROBERTS, M. *Estimating the impact of climate change on crop yields: the importance of nonlinear temperature effects*. Working Paper 13799, National Bureau of Economic Research, Cambridge. 2008. De: <http://www.nber.org/papers/w13799>. 12 feb. 2013.
 - SIAP (SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA). *Producción agrícola*. De: <http://www.siap.gob.mx>. 12 abr. 2013.

La brecha digital en el estado de Aguascalientes

The digital gap in the state of Aguascalientes

José Eder Guzmán Mendoza¹, Jaime Muñoz Arteaga^{2*},
Francisco Javier Álvarez Rodríguez³, César Eduardo Velázquez
Amador²

Guzmán Mendoza, J. E., Muñoz Arteaga, J., Álvarez Rodríguez, F. J., Velázquez Amador, C. E.,
La brecha digital en el estado de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia de la Universidad
Autónoma de Aguascalientes*. Número 61: 54-61, enero-abril 2014.

RESUMEN

El uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) es uno de los elementos clave para la transformación de las sociedades en *sociedades de la información y del conocimiento*. Sin embargo, la diferencia en el acceso y uso de las TIC ha contribuido a la generación de un problema de "brecha digital" entre la población que impide el desarrollo económico y humano a nivel individual y colectivo. Es así que las instituciones de educación, gobiernos y empresas cumplen un papel importante a través de la creación de espacios comunes de libre acceso para la población en diferentes comunidades y algunos municipios, además de proporcionar equipos de cómputo para recibir capacitación en su uso.

El objetivo principal de esta revisión es dar una apreciación de la situación del estado de Aguascalientes respecto a la brecha digital para los puntos de infraestructura, alfabetización digital y estrategias gubernamentales en un contexto nacional.

Palabras clave: alfabetización digital, brecha digital, sociedad del conocimiento, TIC.

Keywords: digital literacy, digital gap, digital citizen, knowledge society, ICT.

Recibido: 19 de junio de 2013, aceptado: 30 de septiembre de 2013

¹ Departamento de Matemáticas y Física, Centro de Educación Media, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

² Departamento de Sistemas de Información, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

³ Departamento de Ciencias de la Computación, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

* Autor para correspondencia: jart@correo.uaa.mx

ABSTRACT

The use of information technologies and communication is one of the key elements to transform societies to informative and knowledgeable societies. However, the difference in access and use of ICTs has contributed to the generation of a "digital gap" problem among the population that prevents economic and human development at individual and collective level. Thus, the educational institutions, governments and companies have an important role through the creation of common free access spaces for people in different communities and some municipalities, besides providing computer equipment to receive training in their use. The main objective of this review is to give an appreciation of the situation of the state of Aguascalientes regarding the digital divide for points of infrastructure, digital literacy and government strategies in a national context.

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (en adelante TIC) están transformando las sociedades a una gran velocidad. La computadora y el internet son actualmente herramientas básicas para el desempeño de la vida moderna. La cantidad de internautas de zonas urbanas continúa creciendo mientras que la de zonas rurales se mantiene sin cambios. El *Plan Sexenal del Gobierno del Estado de Aguascalientes 2010-2016* considera dentro de sus principales actividades el acortamiento de la brecha digital como estrategia para el mejoramiento de la calidad de vida de los aguascalentenses, por lo que se hace necesario un plan rector que considere todos los aspectos para llevar a Aguascalientes hacia una sociedad del conocimiento. Sin embargo, esto

implica resolver primero el problema de la brecha digital en el Estado.

En la actualidad, la problemática de la alfabetización digital y el acceso equitativo a las TIC se ha transformado en una tarea en la que el Estado tiene un rol fundamental (DNIECE, 2007). Por tal motivo, el Gobierno Federal en México a través de su Agenda Digital menciona que la banda ancha y las TIC promueven la equidad social, debido a que con su uso y aprovechamiento representan un potencial para el desarrollo, la productividad y el bienestar del país. Por ello, la Agenda Digital parte de la premisa de que el acceso universal a la conectividad de banda ancha es una prioridad nacional y se considera de utilidad pública. Eso faculta y obliga al Estado a promover acciones que contribuyan a ampliar su cobertura, reducir sus costos y garantizar una oferta competitiva de los servicios de telecomunicaciones (SCT, 2012).

Para reducir la brecha digital se necesita una visión integral que contemple todos los aspectos sociales y económicos dentro del marco de prioridades de desarrollo del estado de Aguascalientes y asegurar que los individuos, empresas y localidades tengan acceso a las TIC. Por estas razones es importante tener mediciones disponibles sobre las dimensiones de la brecha digital. El presente artículo tiene por objetivo mostrar una apreciación de la situación del estado de Aguascalientes respecto a la brecha digital para los puntos de infraestructura, alfabetización digital y estrategias gubernamentales.

Antecedentes

El creciente uso de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) se han transformado en un elemento fundamental para el surgimiento de la sociedad de la información (SI), la cual se ha caracterizado por el desarrollo social y económico en torno a la capacidad de sus miembros de recibir, manipular y procesar información; más aún, este flujo de información ha derivado en un círculo virtuoso ascendente en torno a la generación de conocimiento y su aplicación. Esta valorización del conocimiento aplicado al desarrollo personal y social de la humanidad en un sentido universal toma la denominación de sociedad del conocimiento (SC). La noción de sociedad del conocimiento define, en nuestro tiempo, un nuevo marco lógico de medición social que incide directamente en el proceso general de desarrollo de una nación (Sierra Caballero, 2012). Tiene su impacto en la constitución

de una nueva economía, denominada economía del conocimiento, en la cual el conocimiento es la fuente esencial de la ventaja competitiva de las naciones, las organizaciones y las personas (Rodríguez Ponce y Palma Quiroz, 2010), otorga poder a quienes lo poseen y proporciona capacidad de acción y decisión. De modo que la capacidad para adquirir, transmitir y aplicar el conocimiento representa una ventaja competitiva (Pedraja Rejas, Rodríguez Ponce y Rodríguez Ponce, 2006).

Castells (2002) define a la SC como

aquella en la que las condiciones de generación de conocimiento y procesamiento de información han sido sustancialmente alteradas por una revolución tecnológica centrada en el procesamiento de información, en la generación del conocimiento y en las tecnologías de la información,

mientras que para el Banco Mundial (2003) es "aquella en la que se genera un cúmulo de conocimientos, los cuales se utilizan para fomentar el desarrollo económico de un país". Por su parte, la UNESCO la define como "una sociedad contemporánea que ha otorgado al conocimiento un papel central en los procesos de producción" (Tünnermann y De Souza, 2003), aunque en su libro *Hacia las sociedades del conocimiento* "además de los aspectos de producción, resalta las dimensiones éticas, sociales y políticas como fuente de desarrollo de un país" (UNESCO, 2005).

Aguascalientes es un estado con un amplio potencial en el desarrollo de tecnologías de la información por diversas iniciativas como el Clúster de Tecnologías de la Información de Aguascalientes (INNOVATIA) y el INEGI. Sin embargo, no todo ese potencial permea a su población en general, lo que ocasiona el denominado problema de brecha digital. La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD, 2001) define la brecha digital como:

La distancia existente entre individuos, áreas residenciales, áreas de negocios y geográficas en los diferentes niveles socio-económicos en relación a sus oportunidades para acceder a las nuevas TIC, así como al uso de Internet, lo que acaba reflejando diferencias tanto entre países como dentro de los mismos.

Puesto que el término brecha digital hace referencia a la desigualdad en el acceso y uso de

las tecnologías de información y comunicación (TIC), es necesario identificar la situación actual del estado para fijar objetivos, establecer estrategias e indicadores para medir progresos. Servon (2002) plantea que el tema de la brecha digital se debe entender en torno a tres grandes conceptos: acceso, educación en TIC y contenido. Entonces, el problema de la brecha digital se contempla complejo y se suma a otras brechas sociales con procesos de apropiación tecnológica que no se reducen únicamente al acceso a las TIC.

Aguascalientes se encuentra transitando por una nueva etapa productiva donde las actividades terciarias –servicios– están emergiendo como el sector que aporta según el INEGI 55.17% del PIB estatal. Esta situación muestra que Aguascalientes va transformando su condición productiva a la información y al conocimiento como los principales recursos y productos de sus actividades económicas, sociales y culturales, y particularmente a las TIC como un factor de transformación social. En este sentido, para que Aguascalientes pueda transitar a la era digital moderna deberá apropiarse socialmente de las TIC mediante prácticas sociales que se inscriben en el marco de la vida cotidiana. Esto implica que los ciudadanos desarrollen competencias digitales necesarias para adquirir conocimientos y transformarlos en riquezas que contribuyan a mejorar su calidad de vida a través de realizar diversas actividades de formación continua y de desarrollo, que les permitan incorporarse a un mundo productivo que demanda cada vez más trabajadores que sean más analíticos y creativos. Sin embargo, para lograr que Aguascalientes se transforme en una sociedad del conocimiento, es fundamental primero resolver el problema de la brecha digital.

MÉTODO

Para obtener una apreciación sobre la brecha digital en el estado de Aguascalientes se realizaron consultas en el portal del INEGI, principalmente en el Módulo sobre Disponibilidad y Uso de las Tecnologías de Información en los Hogares (MODUTIH) y de la ENDUTIH. También se realizaron consultas en portales y documentos del gobierno del estado de Aguascalientes, así como de algunas subdependencias para obtener información relevante sobre los proyectos en infraestructura y alfabetización digital implementadas para acercar las TIC a la población. Por último, para complementar los vacíos de información respecto a la precisión y obtención de la información contemplada, se diseñó

y aplicó la “Encuesta Integral de Déficit Digital en el Estado de Aguascalientes” (EIDDEA⁴), que tiene como objetivo generar información sobre el acceso, uso, actitudes, nivel de competencias y acceso de la población del estado de Aguascalientes.

Mapeo de la brecha digital del estado de Aguascalientes

Para obtener una apreciación lo más amplia posible sobre la brecha digital del Estado de Aguascalientes, se presentará información desde tres perspectivas: Infraestructura, Alfabetización digital y Estrategias gubernamentales (ver Figura 1).



Figura 1. Elementos de análisis de la brecha digital en el estado de Aguascalientes.

Infraestructura:

El marco jurídico de las telecomunicaciones en el país intenta impulsar la implementación de infraestructura y servicios de telefonía fija y móvil, así como de acceso a internet; en la práctica, las políticas públicas federales y estatales; sin embargo, no se ha logrado reducir la brecha y la pobreza digitales que se observan en entidades como Oaxaca (Coria, Pérez Meza, Mendoza Cortés y Martínez Peláez, 2011). En este sentido, para lograr una sociedad del conocimiento ideal, es indispensable que el gobierno mejore de manera sustancial su conectividad y que ofrezca el ancho de banda suficiente para permitir el intercambio de información digital en los diversos sectores como: salud, educación y seguridad con la suficiencia necesaria para aplicar nuevas tecnologías. Respecto a este punto, la Agenda Digital.mx establece que la infraestructura de conectividad y en particular el acceso a la banda ancha es el principal habilitador de la economía digital y de la sociedad de la información y el conocimiento.

⁴ Debido a las implicaciones técnicas y éticas que representaba la realización de entrevistas a la población menor de 14 años, se determinó que el universo de estudio fuera la población de 14 años y más del estado de Aguascalientes. El tipo de muestreo utilizado es aleatorio y estratificado en todos y cada uno de los municipios de Aguascalientes.

Los negocios de internet público conocidos como cibercafés se presentan como infraestructura de acceso público con costo y que juegan un papel determinante en la lucha contra la brecha digital. Un gran porcentaje de los servicios ofrecidos por los cibercafés pueden ser transformados en una o varias

habilidades digitales, de tal manera que promueven la apropiación de competencias digitales básicas e intermedias. Según INEGI, Aguascalientes ocupa el lugar número 11 en cibercafés establecidos con 747 instalados en todo el estado. Existe al menos un cibercafé en cada municipio o cabecera municipal. En cuanto a las bibliotecas públicas, pueden ayudar a superar las barreras digitales. Ahora los gobiernos y las instituciones reconocen a las bibliotecas como parte de los espacios públicos ideales para ser uno de los puntos de acceso a las tecnologías y a internet que garantice el acceso a la información de los usuarios más desfavorecidos evitándoles el gasto de inversión en las TIC (Hernández, 2004).

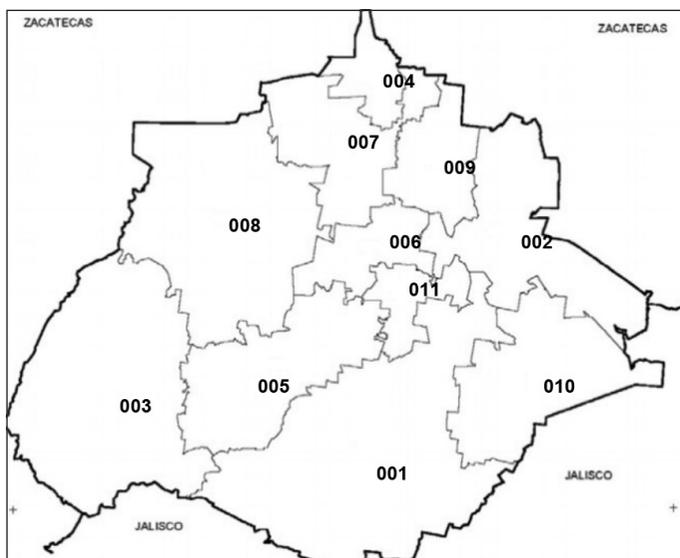


Figura 2. Municipios del estado de Aguascalientes.

Hogares con computadora. Los hogares que cuentan con computadora en Aguascalientes representan el 37.2%, lo que coloca a la entidad por encima de la media nacional (30%). Las entidades que tienen los porcentajes más altos son: el Distrito Federal (48.2%), Baja California Sur (46.8%), Baja California (45.5%), mientras que las entidades con menor porcentaje son: Chiapas (14.9%), Oaxaca (15.4%), Guerrero (15.5%), y Tlaxcala (17.3%), (INEGI, 2011).

Hogares con internet. En Aguascalientes, el 28.8% de los hogares cuentan con una conexión a internet,

Tabla 1. Infraestructura disponible por municipios

Clave	Nombre	Infraestructura disponible						SHDT	Otros
		IP	IES	BP	CC	NCC			
001	Aguascalientes	Sí	29	21	10	605	80 de 167	Casas de la Ciencia y la Tec.	
002	Asientos	Sí	0	6	1	9	7 de 36	Otras bibliotecas: 1.	
003	Calvillo	Sí	1	7	1	20	8 de 33	Otras bibliotecas: 1 Casas de la Ciencia y la Tec.	
004	Cosío	No	0	5	1	4	2 de 10	Otras bibliotecas: 1	
005	Jesús María	Sí	1	5	1	29	11 de 32	Otras bibliotecas: 3 Casas de la Ciencia y la Tec.	
006	Pabellón de Arteaga	Sí	0	4	1	26	4 de 14	Otras bibliotecas: 2	
007	Rincón de Romos	Sí	2	6	1	28	2 de 27	Otras bibliotecas: 3.	
008	San José de Gracia	Sí	0	3	1	2	2 de 8		
009	Tepezalá	Sí	0	3	1	5	6 de 22	Casas de la Ciencias y la Tec	
010	El Llano	Sí	0	2	1	4	2 de 15		
011	San Francisco de los Romo	Sí	0	4	1	15	2 de 13	Otras bibliotecas: 1	

IP: Internet Público, IES: Instituciones de Educación Superior, BP: Bibliotecas Públicas (Red Nacional de Bibliotecas), CC: Centros Culturales, NCC: Negocios de Cibercafés, SHDT: Numero de Secundarias conectadas al programa HDT⁵ (Habilidades Digitales para Todos). A partir de: INEGI, FOMIX, CONACULTA.

⁵ El Instituto de Educación de Aguascalientes (IEA) lleva a cabo el programa HDT que impulsa el desarrollo y utilización de las TIC en las escuelas de educación básica para apoyar el aprendizaje de los estudiantes, ampliar sus competencias para la vida y favorecer su inserción en la sociedad del conocimiento.

lo que coloca a la entidad por encima de la media nacional (23.3%). Las entidades que presentan el mayor porcentaje de hogares con conexión a internet son: Baja California Sur (40.7%), Distrito Federal (38.7%), Baja California (38.1%). Las entidades que presentan los porcentajes más bajos son: Oaxaca (8.0%), Chiapas (10.4%), Tlaxcala (11.7%), Guerrero (11.8%) (INEGI, 2011).

Se observa en México que la brecha digital que existe en el acceso —disponibilidad de las TIC— por zona geográfica se concentra en la región sureste, en donde sólo alrededor del 15% tiene acceso a computadoras y el 10% a internet. La zona que presenta un mayor acceso y uso tecnológico en el país es el noroeste, donde alrededor del 47% tiene acceso a una computadora y alrededor de 39% tiene acceso a internet. Aguascalientes se ubica geográficamente en el punto intermedio de transición entre las entidades más fuertes y más débiles respecto al acceso, pero que ligeramente se aproxima a los porcentajes de la zona noroeste.

Alfabetización digital:

De acuerdo a Area y Pessoa (2012), la alfabetización debe representar un proceso de desarrollo de una identidad como sujeto en el territorio digital, que se caracterice por la apropiación significativa de las competencias intelectuales, sociales y éticas necesarias para interactuar con la información y para recrearla de un modo crítico y emancipador. La finalidad de la alfabetización es ayudar al sujeto a construirse una identidad digital como ciudadano autónomo, culto y democrático en la red. Por otra parte, Gutiérrez y Tyner (2012) refieren la alfabetización digital a la capacitación técnica para el uso de las TIC, de las redes de computadoras, plataformas virtuales, redes sociales y de distintos dispositivos de edición de video, texto e imagen, etc. En este apartado se muestran algunos datos estadísticos sobre los usuarios de computadora, internet y teléfonos celulares en la entidad de Aguascalientes.

Usuarios de computadora. Aguascalientes ocupa el lugar número 12 con el 46.1% de usuarios de computadora. Solamente siete entidades superan la mitad de la población con usuarios de computadora: Distrito Federal (58.2%), Baja California (57.6%), Sonora (55.7%), Quintana Roo (53.5%), Baja California Sur (53.3%), Colima (51.3%) y Nuevo León (51.5%). Las entidades que presentan los porcentajes más bajos de usuarios de computadora son: Chiapas (25.1%),

Oaxaca (28.1%), Guerrero (28.6%) y Veracruz (28.8%) (ENDUTIH, 2012, pag. 18).

Usuarios de internet. Aguascalientes ocupa el lugar 13 con 40.6% de usuarios de internet. Sólo hay dos entidades que superan el 50% de usuarios de internet: el Distrito Federal (53.6%) y Baja California (53.4%). Se aproximan a estos porcentajes Sonora (49.6%), Quintana Roo (48.9%), Baja California Sur (47.5%) y Colima (45.7%). Las entidades con menor porcentaje de usuarios de internet son: Chiapas (22.0%), Oaxaca (23.8%), Guerrero (24.5%) y Veracruz (24.7%) (ENDUTIH, 2012, pag. 19).

Entre los principales usos que se le da a internet en la entidad, el 63.1% es para obtener información, el 63.8% es para comunicación, el 34.3% es para apoyar la educación o capacitación, el 26.5% es para entretenimiento y muy abajo se encuentra con el 1.8% operaciones bancarias en línea y 1.5% para interactuar con el gobierno.

Usuarios de teléfono celular. Respecto a usuarios de teléfono celular, Aguascalientes presenta un 55.7%. A pesar de que se encuentra encima del 50% de usuarios de teléfonos celulares, ocupa el lugar 19. Las entidades que presentan los porcentajes más altos son: Baja California Sur (77.4%), Quintana Roo (76.1%), Sonora (75.6%), Baja California (74.3%). Las entidades que presentan los porcentajes más bajos son: Guerrero (31.1%), Oaxaca (34.2%), Tlaxcala (37.6%) y Puebla (37.7%) (ENDUTIH, 2012, pag. 20).

A partir del diagnóstico aplicado dentro del proyecto FOMIX Aguascalientes (Ruvalcaba Sánchez, Correa Medina y Muñoz Arteaga, 2012) se obtuvo que el 79.9% son solteros y 3.5% son casadas. En lo que respecta a la ocupación, 65.6% son estudiantes y 19.9% son trabajadores asalariados, 9.4% son trabajadores independientes, 5.5% son amas de casa, 2.4% son desempleados y el 4.2% permanecen jubilados. El 35.2% de la población cuenta con nivel licenciatura y el 40% con preparatoria. Estos factores en su conjunto indican que no existe un rezago educativo que pudiera determinar el rechazo en la adopción de tecnologías. Por otra parte, de los factores, la encuesta indica que el 78.6% de los hogares en la entidad están encabezados por un varón, y el 21.4% restante por una mujer. De este modo, Escofet Roig y Rubio Hurtado (2007) mencionan que respecto al género hombres y mujeres tienen diferentes prejuicios hacia el uso de las tecnologías. Ligado a este hecho, se tiene que el 3% de

los hogares cuenta con un jefe de familia muy joven (25 años o menos), 22% tienen un jefe de familia joven (26 a 40 años), 59% tiene un jefe de familia maduro (entre 41 y 60 años) y el 6% está dirigido por un adulto mayor (más de 60 años). Este factor generacional está dominado por los jefes de familia maduros y puede impactar fuertemente respecto a las creencias y la percepción de las tecnologías. En este sentido, la encuesta reveló que sólo el 33% de la población está totalmente de acuerdo en que la tecnología facilita las actividades cotidianas; de igual manera, 33% de la población tiene la percepción de que la tecnología se descompone fácilmente y 26% de la población afirma que la tecnología falla cuando más la necesita. Un 61% de la población está de acuerdo en que la tecnología es cara e inaccesible.

Modelos de servicios diferenciados para la alfabetización digital. En el estado de Aguascalientes se han definido modelos de servicios diferenciados (ver Tabla 2) que puedan dar cobertura amplia en diversos estratos sociales y así fortalecer la cultura digital. Los modelos son promovidos por diferentes instituciones y dependencias gubernamentales, así como algunos particulares (actores).

Como un caso de éxito de programas de intervención se tiene a Colima con el programa de intervención comunitaria "Enrédate" (Zermeño, 2007). El propósito es promover el empoderamiento

y el desarrollo sostenible de comunidades rurales marginadas a través de metodologías participativas encaminadas a la apropiación creativa de las nuevas TIC.

Estrategias gubernamentales:

Fomentar el uso de internet en toda la población es una estrategia que el gobierno del estado ha decidido implementar para impulsar a Aguascalientes hacia una sociedad del conocimiento y reducir la brecha digital. La estrategia está basada en cinco programas apoyados por el Instituto de Educación de Aguascalientes (IEA) y dirigidos por el Instituto para el Desarrollo de la Sociedad del Conocimiento del Estado de Aguascalientes (IDSCEA).

A través de estos programas (Tabla 3), las principales plazas públicas de los 11 municipios de Aguascalientes cuentan con internet gratis a través de la plataforma "Infinitum móvil", para que los ciudadanos que tengan computadoras o dispositivos móviles puedan hacer consultas en internet. De igual manera, el gobierno de Aguascalientes ha puesto en marcha el proyecto de conectividad digital de la Red Estatal de Educación, Salud, Gobierno y Seguridad (REESGS). La estrategia es consolidar a Aguascalientes en el contexto nacional e internacional como eje de la vanguardia digital, instaurando un anillo de conectividad por medio de una red WiMax de hasta 662 megabits por segundo.

Tabla 2. Modelos de servicios diferenciados para la alfabetización digital

Modelo de Servicio diferenciado	Descripción	Actores
MEVyT	Es un programa que provee educación básica de calidad a la población.	Instituto para la Educación de las Personas Jóvenes y Adultas de Aguascalientes (INEPJA)
Unidades Móviles de Alfabetización Digital	Representa una alternativa para incrementar la apropiación de las competencias digitales básicas en la población del estado de Aguascalientes.	Instituto para el Desarrollo de la Sociedad del Conocimiento del Estado de Aguascalientes (IDSCEA)
HDT (Habilidades Digitales para Todos)	Impulsa el desarrollo y utilización de TIC en las escuelas de educación básica.	Instituto de Educación de Aguascalientes (IEA)
Bibliotecas públicas	Ofrecen servicios de consulta y acceso a la información tanto en medios físicos como electrónicos.	Instituto Cultural de Aguascalientes (ICA)
HidroCiber	Representan la oportunidad de integrar los negocios de Internet público conocidos popularmente como cibercafés en la lucha contra la brecha digital.	Algunos particulares

Tabla 3. Programas del IDSCEA

Programas	Descripción
Wi-fi	Implementar señal inalámbrica de internet sin costo para el usuario en todas las universidades, plazas públicas y parques recreativos en el estado de Aguascalientes.
Biblioteca digital	Reacondicionar todas las bibliotecas del estado con equipos de cómputo conectados a internet para realizar consultas de manera eficiente.
Aula digital	Instalar aulas digitales en todo el estado distribuidas en escuelas y centros comunitarios para que de manera gratuita niños, jóvenes y adultos tengan acceso al conocimiento básico en el uso de las TIC.
Internet para todos	Facilitar de manera gratuita el uso de computadoras e internet a todos los estudiantes de Aguascalientes.
Tiempo ciber	Facilitar a los niños de primaria, secundaria o preparatoria tiempo ciber para hacer sus tareas y tener acceso a la computadora e internet mediante los negocios ciber distribuidos en todo el estado.

Respecto a los avances que se han obtenido en otros lugares de Latinoamérica para disminuir la brecha digital, se tiene que Venezuela (Norelkys, 2010) en su Decreto 825 promulgado por la Presidencia de la República, ha orientado la ejecución de planes, programas y proyectos que han propiciado un mayor acceso a las TIC para generar un cambio de paradigma y cambiar a Venezuela de un país mayoritariamente consumidor a un país productor de tecnologías informáticas.

En el caso de Chile (Fernández Medina, 2005), la brecha digital no es tan grande. Las últimas encuestas indican que menos de 66% de los chilenos son usuarios directos o indirectos de internet y, por tanto, tienen acceso a esta tecnología. De esta manera, sus iniciativas van orientadas a ayudar a superar la falta de acceso por decisión propia o por falta de destrezas digitales o de alfabetización digital. Entre las principales iniciativas públicas chilenas se encuentran: a) Biblioredes, iniciativa que comprende 368 bibliotecas públicas equipadas con computadoras y conexión a banda ancha, y que ofrece programas de capacitación. Dicha iniciativa es similar al programa "Bibliotecas públicas" implementado en todo el estado de Aguascalientes, b) la Campaña Nacional de Alfabetización Digital (CNAD), una iniciativa transversal que busca coordinar el trabajo de diversos actores del estado, la empresa privada y el tercer sector para la extensión del aprendizaje y uso de las TIC en Chile. Iniciativa semejante al Proyecto FOMIX Aguascalientes 2011-01, que busca implementar estrategias de intervención integral desde el trabajo de diversos actores del estado de Aguascalientes, las empresas e instituciones de educación superior (IES).

CONCLUSIONES

A través del mapeo de la brecha digital realizado al estado de Aguascalientes se encontró que existen avances importantes sobre disminución de brecha digital para los puntos de infraestructura instalada y estrategias gubernamentales; sin embargo, un hallazgo importante en el mapeo permite ver que para el punto de alfabetización digital los datos demuestran que aún gran parte de la población —alrededor del 50%— presenta deficiencias o carencias en las habilidades y competencias digitales para el manejo de la computadora e internet. Esta capacidad de uso puede estar estrechamente ligada a la capacidad de adquisición de tecnologías. En el mapeo se observó que menos del 50% de la población cuenta con computadora e internet en sus hogares; además, y una de las causas que posiblemente está provocando este fenómeno se puede atribuir a que el 59% de los hogares tienen un jefe de familia de cierta edad (entre 41 y 60 años), y puede estar influenciado por la percepción que se tiene sobre la complejidad de usar la tecnología, asociada a que es muy costosa y que se descompone fácilmente. Esto hace necesario más estudios orientados a encontrar factores de aceptación o rechazo sobre adopción de tecnologías que involucren las creencias y la percepción de las tecnologías para tener un mapeo más amplio y así mejorar las estrategias que garanticen la inclusión digital a todos los estratos de la población.

Por tanto, la brecha digital es un fenómeno multidimensional que hace más compleja la definición de políticas y estrategias que eviten la

exclusión de las personas de una cultura digital. La disminución de la brecha digital debe ser entendida como un proceso de transformación social que hace necesaria la definición de estrategias, instrumentos y políticas públicas que contribuyan a generalizar y

homogeneizar el acceso y uso de las TIC en los diversos estratos sociales y proporcionen la infraestructura, acceso y competencias digitales necesarias para ser partícipes de la economía del conocimiento.

LITERATURA CITADA

- AREA, M. y PESSOA, T. De lo sólido a lo líquido: las nuevas alfabetizaciones ante los cambios culturales de la Web 2.0. *Comunicar*, 38, 13-20, 2012.
 - BANCO MUNDIAL. *Construir sociedades de conocimiento. Nuevos desafíos para la educación terciaria*. Washington, DC, 2003.
 - CORIA, S. R., PÉREZ MEZA, M., MENDOZA CORTÉS, E., y MARTÍNEZ PELÁEZ, R. Brecha Digital y Pobreza Digital en el Estado de Oaxaca. *Redalyc*, 42, 19-25, 2011.
 - DNEICE (DIRECCIÓN NACIONAL DE INFORMACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD EDUCATIVA). *Acceso universal a la alfabetización digital. Políticas, problemas y desafíos en el contexto argentino*. 2007.
 - FERNÁNDEZ MEDINA, F. J. Brecha e inclusión digital en Chile: los desafíos de una nueva alfabetización. *Comunicar*, XIII(24): 77-84, 2005.
 - GUTIÉRREZ, A. y TYNER, K. Educación para los medios, alfabetización mediática y competencia digital. *Comunicar*, XIX(38): 31-39, 2012.
 - HERNÁNDEZ, T. El rol de las bibliotecas ante la brecha digital. *Pez de la Plata: Revista de Opinión para el desarrollo de las Bibliotecas Públicas*, 3, 2004.
 - INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). *Estadísticas sobre disponibilidad y uso de tecnología de información y comunicaciones en los hogares, 2012*. 37 pp. México: Autor, 2012.
 - INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). *Hogares con Computadora e Internet por entidad federativa 2001*. 2011.
 - NORELKYS, E. La brecha digital. Avances para su superación en Venezuela. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, 2010.
 - OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT). *Understanding the digital divide*. France: OECD, 2001.
 - PEDRAJA REJAS, L., RODRÍGUEZ PONCE, E., y RODRÍGUEZ PONCE, J. Sociedade do conhecimento e direção estratégica: Uma proposta integradora. *Interciencia*, 31(8): 570-576, 2006.
 - RODRÍGUEZ PONCE, E. y PALMA QUIROZ, A. Desafíos de la educación superior en la economía del conocimiento. *Ingenaire. Revista chilena de ingeniería*, 18(1): 8-14, 2010.
 - RIVALCABA SÁNCHEZ, M. L., CORREA MEDINA, J. G., y MUÑOZ ARTEAGA, J. Reporte CONACYT-FomixAgs2011-C01-171877 *Aguascalientes*. Diagnóstico Integral de la Brecha Digital en la Población del Estado de Aguascalientes. *Fomix-Ags 2011-C01-171877*, 2012.
 - SERVON, L. J. Bridging the Digital Divide: Technology, Community, and Public Policy. In CASTELLS, M. (Ed.), *[The Information Age]*. Malden, MA: Blackwell Publishers Ltd., 23 pp., 2002.
 - SIERRA CABALLERO, F. Ciudadanía Digital y Sociedad de la Información en la Unión Europea. Un análisis crítico. *Andamios. Revista de Investigación Social*, 9(19): 259-282, 2012.
- De páginas electrónicas**
- CASTELLS, M. *La dimensión cultural de Internet*. UOC. De: <http://www.uoc.edu/culturaxxi/esp/articles/castells0502/castells0502.html>, 2002.
 - ESCOFET ROIG, A. y RUBIO HURTADO, M. J. La Brecha Digital: Género y Juegos de Ordenador. *REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 5(1): 63-77, 2007.
 - TÜNNERMANN, C. y DE SOUZA, M. *Desafíos de la Universidad en la Sociedad del Conocimiento, cinco años después de la Conferencia Mundial sobre Educación Superior*. París, Francia: UNESCO. De: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001344/134422so.pdf>, 2003.
 - UNESCO. *Informe mundial de la UNESCO Hacia las sociedades del conocimiento*. Ediciones UNESCO. De: <http://www.unesco.org/publications>, 2005.
 - ZERMEÑO FLORES, A. I. *Enrédete. Tecnologías comunitarias (fase 2)*. Informe técnico. De: <http://www.quisqueya.com.mx/E2.pdf>, 2007.

Pablo Latapí Sarre. *In memoriam*

Felipe Martínez Rizo^{1*}

Martínez Rizo, F.; Pablo Latapí Sarre. *In memoriam*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 61: 62-64, enero-abril 2014.

El Dr. Pablo Latapí Sarre murió en su casa, en la ciudad de México, la noche del 31 de julio al 1 de agosto de 2009. Había nacido en la misma ciudad en 1927.

Pablo entró a la Compañía de Jesús en 1942 y permaneció en ella hasta 1975. Además de los estudios de filosofía y teología, hizo un doctorado en educación en la Universidad de Hamburgo. A su regreso a México, en 1963, fundó el Centro de Estudios Educativos (CEE), la primera institución mexicana dedicada profesionalmente a la investigación educativa, que abrió el camino e inspiró a centros similares en México y América Latina.

Pablo dirigió el CEE hasta 1973. Posteriormente ocupó puestos importantes en varias instancias del sistema educativo mexicano, en todos los cuales su gestión se distinguió por su carácter innovador, que se reflejó en el impulso de iniciativas trascendentes: Vocal Ejecutivo del Programa Nacional Indicativo de Investigación Educativa (CONACYT 1977-82); asesor de secretarios de educación (Fernando Solana, José Á. Pescador, Miguel Limón y Reyes Tamez); apoyo a otras autoridades del sistema público de educación, incluyendo subsecretarios y secretarios estatales de educación, y directores de organismos como el CREFAL, el INEA, el CONEVYT y el ILCE. Brindó asesoría a universidades públicas y participó en cuerpos colegiados como el Consejo de Plantación de la UNAM, la Junta de Gobierno de la UAM, diversos comités del CONACYT y el SNI, la Academia Mexicana de Ciencias, la Junta Directiva del INEE, etc.

En el terreno internacional, de 1989 a 1991 fue Delegado permanente adjunto de México ante la



El Dr. Pablo Latapí Sarre en 2008.
Imagen proporcionada al autor por la Sra. María Matilde Martínez de Latapí.

UNESCO y embajador ante la misma institución de 2004 a 2006. Fue también consultor de la UNESCO; del Instituto Internacional de Planificación de la Educación de la UNESCO; del *Center for Educational Research and Innovation* de la OCDE; de la OEA, la OEI y el Consejo Nacional de la Universidad Peruana; del Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo de la Educación de Perú, el CRIDE de Zaire, el IDRC de Canadá, la Academia de Humanismo Cristiano de Chile y el Instituto Tecnológico de Santo Domingo.

¹ Departamento de Educación, Centro de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

* Autor para correspondencia: fmartin@correo.uaa.mx

Además del CEE, el Dr. Latapí creó otras organizaciones de la sociedad civil, entre las que se pueden mencionar Educación y Prospectiva, Reuniones de Información Educativa, la Asociación Mexicana para las Naciones Unidas y el Observatorio Ciudadano de la Educación. Fue el principal impulsor del Primer Congreso Nacional de Investigación Educativa, del que se derivó, más de una década después, el Segundo Congreso, y luego el Consejo Mexicano de Investigación Educativa.

Don Pablo recibió distinciones y reconocimientos diversos a lo largo de su carrera, destacando el Premio Nacional de Historia, Ciencias Sociales y Filosofía que se le otorgó en 1996, y la medalla Comenio de la UNESCO y la República Checa en 2001. En 1982 había recibido ya los Premios Andrés Bello de la OEA y Luis Elizondo del ITESM. Recibió también doctorados *honoris causa* de las universidades de Colima, Tlaxcala, Sonora y Veracruz, además de la Autónoma Metropolitana y, antes que todas, en 1993, precisamente de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, que reconoció sus aportaciones a la educación en general, pero también como agradecimiento a su apoyo a la institución, desde 1976, en las tareas de planeación, investigación, formación de investigadores y trabajos de educación para la paz y los derechos humanos.

En el medio educativo hay consenso en considerar a Don Pablo como el gran pionero de la investigación educativa en el país. Los proyectos que realizó o dirigió cubrieron temas variados, de gran claridad y altos niveles de calidad, entre los que se pueden mencionar:

- Diagnósticos de la educación mexicana, desde el de 1964 que inauguró el campo, hasta uno de 1994.
- Trabajos sobre la relación entre educación y economía, comenzando también en 1964, aplicando la metodología desarrollada por la OCDE en el Proyecto Regional Mediterráneo en la década de 1960.
- Trabajos de autoevaluación institucional en universidades, retomados por la SEP y la ANUIES desde principios de la década de los 70, que sirvieron de base a los primeros trabajos de planeación.

- Análisis de enfoque filosófico de instrumentos jurídicos relacionados con la educación.
- Trabajos de educación de adultos, incluyendo tanto acciones educativas directas como análisis y reflexiones sobre ellas y sobre los enfoques de investigación acción.
- Estudios sobre el financiamiento de la educación.
- Estudios sobre aspectos valorales de la educación, incluyendo la dimensión filosófica y la pedagógica.
- Estudios sobre la investigación educativa misma, como los que sirvieron de base al Plan Nacional Indicativo y otros que se recogen en un libro publicado por el Fondo de Cultura Económica en 1996.

En su función de asesor de altos directivos, Pablo desempeñó con singular eficacia el papel de intermediario entre la investigación y la toma de decisiones. Durante varias décadas los más altos responsables de la educación nacional se beneficiaron con sus consejos. Muchos programas y elementos valiosos del sistema educativo mexicano tuvieron su origen en sus ideas y proyectos, experiencia que él aprovechó a su vez para hacer originales reflexiones sobre ese necesario y difícil interfase entre científicos y políticos.

Además de sus relevantes aportaciones como investigador y asesor, Don Pablo fue sin duda, durante más de cuatro décadas, el más destacado formador de opinión pública sobre temas educativos, gracias a la labor periodística que desarrolló primero en las páginas de *Excelsior*, hasta julio de 1976, y luego en las de *Proceso*, donde miles de personas lo seguimos semana a semana, tomándolo como punto de referencia para analizar no sólo temas educativos, sino también otros aspectos de la vida nacional tan delicados e importantes como las cuestiones indígenas, los derechos humanos, el sentido social de las políticas económicas, la equidad, etc.

Por la calidad de sus trabajos profesionales y la profundidad de su pensamiento, respaldados por el peso específico y el extendido impacto de sus aportaciones y por la autoridad moral que sólo da la congruencia de lo que se dice y lo que se hace a lo largo de toda una vida, Pablo fue para muchas personas bastante más que un colega competente.

Fue una fuente de inspiración, una suerte de modelo de rol, un ejemplo a seguir.

Lo anterior es resultado de la combinación de varios rasgos: en primer lugar, el *rigor intelectual* que, a su vez, resulta de la combinación de una capacidad intelectual excepcional con una sólida formación. En segundo lugar, la combinación de *laboriosidad* y *disciplina* que refleja la obra de Pablo; para producir decenas de libros y artículos académicos, además de centenares de columnas periodísticas semanales, no basta una gran capacidad intelectual, se necesita de una laboriosidad y una disciplina de trabajo ejemplares.

Un tercer rasgo de la personalidad de Pablo es el que encierra la expresión capacidad de *liderazgo* y *dirección*: Pablo fue un jefe excepcional, que tenía la capacidad de ver lejos, de proponerse metas ambiciosas y de catalizar el esfuerzo suyo y de otros para alcanzarlas. Un cuarto elemento es el *valor civil*, *madurez* y *congruencia*, que se reflejaron en sus

posturas personales ante diversos aspectos de la vida pública del país, tanto en el terreno educativo como en el de los derechos humanos, muy especialmente en relación con los indígenas y otros grupos particularmente vulnerables.

Un quinto y último rasgo de la personalidad de Don Pablo, que una estrecha relación profesional y personal me permitió apreciar, puede englobarse en la expresión de calidad humana. Puedo testimoniar que, además de todo lo antes dicho, Pablo fue un caballero; un amigo sencillo y franco; un ser humano amable y generoso que no escatimaba tiempo para quien solicitaba su atención.

Pablo fue y sigue siendo un ejemplo para los investigadores educativos y, en general, para los educadores y los ciudadanos de México. Ojala que estas líneas lleven a algunos lectores a conocerlo directamente a través de algunos de sus escritos. Estoy seguro de que les dejará una marca indeleble.

Estrés oxidativo y su impacto en la salud. Reseña

Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez, A. R., Martínez Saldaña, M. C. (Comps.). *Estrés oxidativo y su impacto en la salud*. Aguascalientes: UAA, 2012, 382 pp. ISBN 978-607-8227-95-2.

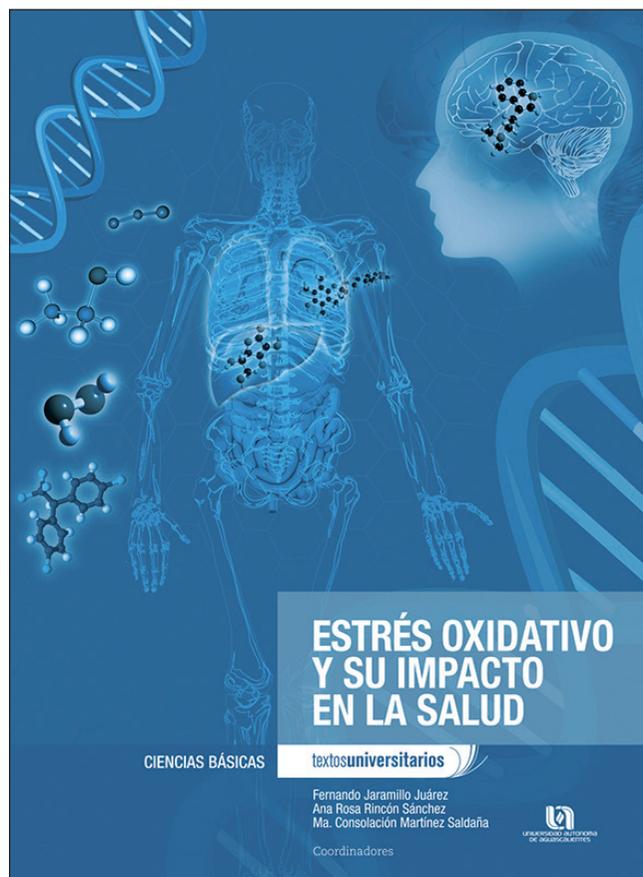
E. Patricia Herrera Gutiérrez¹

Herrera Gutiérrez, E. P., *Estrés oxidativo y su impacto en la salud*. Reseña. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 61: 65-66, enero-abril 2014.

Estrés oxidativo y su impacto en la salud es un libro escrito por Profesores-Investigadores de varias Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación de México, así como de la Universidad de California-Davis, USA. Editado por la Universidad Autónoma de Aguascalientes (Primera Edición, noviembre de 2012, ISBN 978-607-8227-95-2), el libro contiene 382 cuartillas que integran 14 capítulos y un glosario. En esta obra se describe con claridad: a) la generación de radicales libres durante el metabolismo celular y su neutralización por los antioxidantes endógenos, b) la producción de estrés oxidativo por exposición a fármacos y sustancias que contaminan el ambiente y los alimentos, c) el daño tisular generado por el estrés oxidativo y su relación con diversos procesos patológicos, d) las acciones y efectos de sustancias antioxidantes que se usan para prevenir o contrarrestar el daño orgánico ocasionado por los radicales libres y e) la relación del estrés oxidativo con el proceso de envejecimiento del humano.

De manera breve, es pertinente señalar que en química la oxidación se relaciona con toda reacción en la que una sustancia pierde electrones y la reducción involucra la ganancia de electrones por otra sustancia. Por ello, todo proceso de oxidación se acompaña siempre de otro de reducción (reacciones de óxido-reducción). En este contexto, debe señalarse que los radicales libres son especies químicas (orgánicas o inorgánicas) con uno o más electrones desapareados, lo que los hace altamente reactivos. Esta situación es energéticamente inestable

y logran su estabilidad obteniendo electrones de otras moléculas y, por tanto, oxidándolas. Para neutralizar a los radicales libres y evitar daño a las células, los organismos aeróbicos han desarrollado mecanismos de protección que funcionan atrapando a esas sustancias (mecanismos antioxidantes). De esta manera, en condiciones fisiológicas, existe un equilibrio



Portada del libro *Estrés oxidativo y su impacto en la salud*.

¹ Facultad de Medicina, Universidad Juárez del Estado de Durango.

entre los fenómenos prooxidantes y los antioxidantes. Sin embargo, bajo diversas circunstancias este equilibrio puede ser alterado, por ejemplo: cuando se producen en exceso las especies reactivas derivadas del oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) o cuando las defensas antioxidantes están disminuidas o deterioradas. Lo anterior puede conducir al daño de las células, fenómeno conocido como *estrés oxidativo*.

En efecto, como se describe en este libro, Rebeca Gershman y Daniel Gilbert (1954) postularon que los radicales libres podrían ser especies químicas responsables de procesos nocivos para las células de los mamíferos. Posteriormente se supo que estos radicales participan como intermediarios en diversas reacciones bioquímicas y en respuestas de las células, así como en algunos cuadros clínicos. Por ello, a partir de esos años, los términos *estrés oxidante u oxidativo*, *daño oxidante u oxidativo*, *radical libre* y *antioxidante* se integraron al lenguaje científico.

Conviene subrayar que si bien es cierto que el oxígeno (O_2) es una molécula imprescindible para la vida, también puede contribuir al establecimiento de enfermedades mediante la producción excesiva de ROS, ya que estas especies químicas pueden dañar estructuras vitales de las células (lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, etc.) y alterar su función. Por ello, el papel potencial de las ROS, o de los radicales derivados del metabolismo de sustancias ajenas al organismo (xenobióticos) en la patología de enfermedades que afectan a los humanos ha estimulado el desarrollo de muchas investigaciones. Así, se ha encontrado que las acciones nocivas producidas por los radicales libres contribuyen al establecimiento de enfermedades crónicas degenerativas (aterosclerosis, artritis reumatoide, diabetes, cáncer, etc.) y participan en el proceso de envejecimiento del humano.

En este contexto, *Estrés oxidativo y su impacto en la salud* es una obra que describe con amplitud la generación del estrés oxidativo celular y su relación con diversos procesos patológicos. De manera resumida, en los capítulos 1 y 2, el libro analiza la producción de radicales libres y sus reacciones con estructuras o moléculas importantes de las células. Los capítulos 3 al 6 describen la exposición del humano a los xenobióticos (fármacos, hidrocarburos halogenados, metales, plaguicidas, aflatoxinas, etc.) y la generación del estrés oxidativo. A su vez, en el capítulo 7 se analizan las propiedades farmacocinéticas y las acciones de los antioxidantes que, a nivel experimental o clínico, han sido usados para prevenir o contrarrestar el daño tisular ocasionado por los radicales libres. Los capítulos 8 al 12 describen el daño producido por el estrés oxidativo en el hígado, los riñones, el sistema nervioso, el sistema cardiovascular y los pulmones. El capítulo 13 fundamenta la participación de este proceso nocivo para las células en la generación del cáncer y, por último, el capítulo 14 describe la relación entre envejecimiento y estrés oxidativo. Es importante subrayar que en los capítulos 8 a 14 también se describen algunos antioxidantes que han sido estudiados como agentes protectores contra el daño generado por el estrés oxidativo. Además, el libro incluye un glosario que define términos o conceptos que pueden ser poco conocidos para el lector.

Finalmente, por su contenido, este libro es útil para los estudiantes de pregrado y posgrado de las áreas químico-biológicas y biomédicas, así como para los profesionistas que deseen ampliar sus conocimientos sobre el estrés oxidativo y los antioxidantes celulares como médicos, biólogos, químicos y toxicólogos.

Política editorial de la revista

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes es una revista arbitrada, científica y multidisciplinaria; editada y distribuida cuatrimestralmente por el Departamento de Apoyo a la Investigación, de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Esta revista contribuye con la difusión del conocimiento científico y tecnológico generado por investigadores de la región, nacionales y extranjeros mediante la publicación de artículos de investigación, revisiones científicas, notas científicas, reseñas de libros y obituarios. Su misión es fomentar la colaboración multidisciplinaria e interinstitucional que favorezca el desarrollo de la investigación, promueva la publicación de sus resultados y la formación de una cultura científica en la población lectora.

Tiene como objetivo principal: difundir, comunicar y divulgar el conocimiento científico y tecnológico, así como promover el desarrollo de la investigación y la producción científica con estándares de calidad en el ámbito local, nacional e internacional a través de la publicación de artículos originales y de difusión.

Está dirigida a estudiantes de licenciatura, ingenierías y posgrados, profesionistas de las diversas disciplinas, profesores e investigadores y público interesado en la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Se distribuye en instituciones de educación superior, centros de investigación, bibliotecas, y organismos del sector público. Cuenta con convenios de intercambio bibliotecario, como: México-USA, COMPAB, REBCO y REMBA. A nivel internacional la revista se difunde por medio de los índices en los que está citada: Índice de Revistas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACYT, Actualidad Iberoamericana, IRESIE, LATINDEX, PERIÓDICA y REDALYC, y en las bases de datos: DIALNET, DOAJ, HELA, ULRICH'S *Periodicals Directory* e Informe Académico.

El primer número se publicó en el año de 1990 y hasta el momento se han editado más de 50. En su estructura considera tres secciones: 1) *Editorial*, que incluye el Directorio, un Consejo Editor y un Comité Editorial de distinguida trayectoria, y el grupo editor. 2)

Artículos científicos, inéditos y originales. 3) *Reseñas de libros y obituarios*, todos relacionados con las Ciencias Agropecuarias, Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias de la Salud, Ingenierías y Tecnologías, así como con las Ciencias Económicas, Sociales y Humanidades.

La revista participa en la Declaración del Movimiento Internacional "Open Access" con el fin de contribuir al aumento de la visibilidad, el acceso y la difusión de la producción científica, por ello, los autores y colaboradores de los artículos ceden los derechos autorales a la revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, de manera que la misma podrá publicarlos en formato impreso y/o electrónico, incluyendo internet.

Criterios para publicar

Los manuscritos propuestos a publicación, deberán ser textos científicos que no hayan sido publicados ni enviados simultáneamente a otra revista para su publicación y de esta manera, sean una contribución inédita a la literatura científica. Solo se aceptan artículos escritos en idioma Español y deberán contener todas las secciones estipuladas en esta Guía, formateados correctamente. Deben seguir las reglas gramaticales y ortográficas de la lengua española. Todos los manuscritos serán evaluados por al menos dos especialistas o investigadores expertos de las diferentes áreas, pertenecientes a diversas instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional.

Tipos de publicaciones

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes acepta artículos originales: de investigación, revisiones científicas, y notas científicas; asimismo, reseñas de libros y obituarios; sin embargo, se da prioridad al primer género de tal manera que integrarán el 75% del contenido de cada número y el 25% corresponderá para el segundo género.

Artículo de investigación: informa los resultados de una investigación, cuyo tema queda comprendido en alguna de las áreas del conocimiento anteriormente indicadas y es de interés científico por su relevancia.

Artículo de revisión científica: resume y analiza un tema científico de importancia, es una revisión de la literatura y del estado actual de un campo de investigación, que ofrece una evaluación crítica del tema.

Nota científica: es un artículo corto de un tema relevante, novedoso y actual, de ciencia y tecnología que describe o explica un hallazgo y por su mérito científico amerita una rápida publicación. Pueden incluirse resultados relevantes que se quieren difundir de forma rápida y no detallada, con información concluyente, pero insuficiente para su análisis en extenso.

Reseña de libro: narra o describe de manera breve y clara la evaluación o crítica constructiva de una obra literaria o científica que se ha publicado en los tres años anteriores a la fecha de publicación de la reseña.

Obituario: describe la vida y obra de una persona fallecida con aportaciones relevantes a la ciencia.

Estructura del contenido

Artículo de investigación

No deberá ser menor de cinco ni mayor de 15 cuartillas, incluyendo las ilustraciones. En algunos casos se podrá acordar con el editor una extensión mayor, no sin antes valorar la importancia de dicha ampliación. Los manuscritos deberán incluir los siguientes elementos (si de acuerdo a la temática no es posible cumplirlos se deberá justificar, en su caso podrán aceptarse ensayos con una aportación crítica, analítica y documentada):

Título. Deberá ser breve y claro, que refleje el contenido del trabajo. No exceder de 20 palabras, escrito en Español y en renglón aparte, la versión del título en Inglés.

Nombre(s) del/los autor(es). Presentar en primer orden el nombre completo del autor principal y posteriormente los demás autores (sin grado académico), agregando al pie de página para cada uno su adscripción (departamento, dependencia e institución) y correo electrónico. Seleccionar un autor para correspondencia.

RESUMEN. Deberá ser un sólo párrafo que sintetice el propósito del trabajo y reúna las principales

aportaciones del artículo en un máximo de 150 palabras, sin subdivisiones y sin citas bibliográficas. Esta sección se iniciará con la palabra **Resumen** al margen izquierdo, con letras negritas y sin punto. Todo manuscrito debe incluir una versión en Inglés del resumen (*abstract*).

Palabras clave. Incluir seis palabras clave relacionadas con el contenido del trabajo, escritas en Español y su versión en Inglés (*keywords*).

INTRODUCCIÓN. Señalar en qué consiste el trabajo completo, objetivos, antecedentes, estado actual del problema e hipótesis.

MATERIALES Y MÉTODOS. Describir en forma precisa el procedimiento realizado para, en su caso, comprobar la hipótesis y los recursos empleados en ello.

RESULTADOS. Describir los resultados de la investigación. Se podrán presentar datos de medición o cuantificación.

DISCUSIÓN. Presentar la interpretación de los resultados de acuerdo con estudios similares, es decir, correlacionando el estudio con otros realizados, enunciando sus ventajas y aportaciones, evitando adjetivos de elogio.

CONCLUSIONES. Precisar los principales resultados que se obtuvieron y señalar si permitieron verificar la hipótesis; asimismo, plantear perspectivas del estudio y de su aplicación.

LITERATURA CITADA. Todas las referencias en el texto deberán aparecer en esta sección y viceversa. Es necesario notar que los títulos de las revistas no se abrevian, que hay espacios entre las iniciales y que se deben nombrar todos los autores. Se anotarán en orden alfabético utilizando el siguiente formato:

Publicación impresa

De libro:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas, *título* (en cursivas), volumen, edición, país: editorial, páginas, año.

De publicación periódica:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas, título del artículo, *revista* (en cursivas), volumen, número, páginas consultadas, fecha de publicación.

Publicación electrónica

De libro:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas, *título* (en cursivas), volumen, edición, país: editorial, páginas, año. De: URL, fecha de consulta. doi: xx.xxxxxxxx

De publicación periódica:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas, *título*, *revista* (en cursivas), volumen, número, páginas consultadas. De: URL de la versión digital, fecha de consulta. doi: xx.xxxxxxxx.

Sólo en caso de contar con el número DOI, será suficiente con colocar éste y omitir el URL.

Citas en texto

En el texto se citará de la siguiente manera: (Aguilar, 2000) o Aguilar (2000); (Aguilar y Camacho, 2001) o Aguilar y Camacho (2001); (Aguilar et al., 2002) o Aguilar et al. (2002). En orden cronológico (Juárez, 1954; Aguilar, 2000; Méndez, 2000). En orden cronológico y alfabético en el mismo año (Juárez, 1954, 1960, 1960a, 1960b).

Tablas y Figuras. Deberán colocarse en el lugar que les corresponde a lo largo del artículo, serán numeradas consecutivamente utilizando números arábigos y estar referidas en el texto.

Las tablas deberán tener título breve en la parte superior utilizando mayúsculas y minúsculas con tipografía Arial 10 pts., tanto en letras como en números. Su orientación será vertical.

Además de las tablas, el artículo se debe acompañar de al menos una fotografía o ilustración con pie de foto explicativo breve, indicando si es de su autoría o citando la fuente. Los dibujos o esquemas deberán estar en original.

Las imágenes o ilustraciones deben tener una calidad mínima de 300 ppp. o al menos 5 megapíxeles con formato TIFF, EPS o JPG. En caso de que el artículo contenga varias ilustraciones, éstas se deberán presentar en otro archivo.

En las figuras —se consideran así tanto gráficas como fotografías y mapas—, utilizar mayúsculas y minúsculas con tipografía Arial 8-10 pts. El tamaño máximo de la figura incluyendo leyendas, será de 12 cm de longitud y 16 cm de ancho, el mínimo permitido será de 6 cm de longitud y 8 cm de ancho.

Se debe explicar claramente en la parte superior de cada tabla y al pie de cada figura el contenido de las mismas en *cursiva*.

Artículo de revisión científica

No deberá ser menor de cinco ni mayor a 15 cuartillas. Debe incluir título en Español y su versión en inglés, nombre de los autores y sus datos de adscripción incluyendo correo electrónico a pie de página, resumen (*abstract*) y palabras clave (*keywords*) en Español y en Inglés, texto del artículo considerando: introducción al tema (incluyendo por qué el problema es de interés), desarrollo del trabajo con una discusión académica, conclusión y un apartado de referencias. El contenido del artículo puede estar subdividido cuidando que exista una conexión entre los apartados. La literatura citada, fotografías, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

Nota científica

No deberá ser mayor a cinco cuartillas. Debe incluir título en Español y su versión en Inglés, nombre de los autores y sus datos de adscripción incluyendo correo electrónico a pie de página, resumen (*abstract*) y palabras clave (*keywords*) en español y su versión en Inglés. El texto deberá escribirse de continuo y sin espacio extra entre los párrafos. La literatura citada, fotografías, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

Reseña de libro

No deberá ser mayor a dos cuartillas. Debe incluir identificación del autor y su obra: nombre del autor, título de la obra, lugar de publicación, editorial, fecha de edición, número de páginas e ISBN; resumen o descripción del texto o contenido, señalando las partes en que está integrado, crítica y conclusión, literatura, fotografías, ilustraciones o gráficas y otros recursos o datos relevantes que lo particularizan como exponente y autoridad en la materia.

Obituario

No deberá ser mayor a dos cuartillas. Debe incluir nombre del autor y sus datos de adscripción incluyendo correo electrónico a pie de página, texto del artículo considerando una introducción que incluya nombre de la persona recordada, fecha y lugar de nacimiento y muerte, una breve biografía, aportaciones científicas y académicas relevantes en la ciencia y una reflexión.

Características de la revisión de artículos

1. El editor se reserva el derecho de devolver a los autores los artículos que no cumplan con los criterios para su publicación.
2. Todos los trabajos son sometidos a un arbitraje de doble ciego a cargo de la Cartera de Árbitros que integra la revista, la cual está compuesta por miembros del SNI o investigadores expertos en el área de los artículos, pertenecientes a instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional. Cada trabajo es revisado por al menos dos evaluadores, especificando en el dictamen si se acepta el artículo intacto, con modificaciones o si definitivamente se rechaza. En caso de contar con resultados discrepantes, se enviará el trabajo a un tercer evaluador, cuyo resultado será definitivo e inapelable.
3. El editor dará a conocer al autor contacto el resultado del arbitraje a través del formato "Observaciones"; si el trabajo es aceptado con modificaciones, el autor deberá atenderlas en un plazo no mayor a 10 días hábiles y enviará nuevamente al editor el original y el archivo electrónico del artículo junto con un **archivo de respuesta a dichas observaciones** en formato Word. El archivo consiste en una explicación detallada de las modificaciones realizadas tomando en cuenta todas y cada una de las observaciones señaladas por los evaluadores. Incluir el comentario del evaluador y su correspondiente acción o respuesta del autor. No es necesario incluir en este archivo las anotaciones realizadas por los evaluadores sobre el artículo.
4. Cuando el autor demore más de 30 días en responder a las sugerencias de los evaluadores, el artículo no será considerado para publicarse en el siguiente número de la revista.
5. El editor informará al autor contacto en su caso, el avance de su trabajo en el proceso de dictaminación, del rechazo, o la fecha de publicación del mismo.
6. La revista se reserva el derecho de adelantar o posponer los artículos aceptados con el fin de

dar una mejor estructura a cada número de acuerdo a la política editorial.

7. Una vez que el artículo haya sido aceptado, pasará a una revisión de estilo y forma, para su versión definitiva. Se enviarán pruebas de impresión en formato PDF al autor contacto y serán devueltas al editor dos días después de haber sido recibidas. Si las pruebas no se entregan a tiempo, el artículo se publicará sin las correcciones correspondientes.
8. Los artículos presentados son responsabilidad total del autor (o los autores) y no reflejan necesariamente el criterio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, a menos que se especifique lo contrario.

Indicaciones para los autores

1. El escrito se enviará en formato Word 2003 o 2007 y en formato PDF, en hoja tamaño carta.
2. Tipografía: Arial en 12 pts.
3. Justificación: Completa, no utilizar sangría al inicio de párrafos.
4. Márgenes: Superior e inferior 2.5 cm.; izquierdo y derecho de 3 cm.
5. Espacio: Doble.
6. Abreviaturas: Escribir el término completo la primera vez que se usa y seguirlo con la abreviatura entre paréntesis.
7. Las expresiones matemáticas deben estar escritas claramente y se debe utilizar el Sistema Internacional de Unidades. Asimismo, los conceptos y términos científicos y técnicos deberán escribirse de forma clara y precisa.

Especificaciones de envío

Para enviar un artículo es necesario que el documento cumpla estrictamente con los lineamientos de formato y de contenido que anteriormente se han especificado.

El envío del artículo puede realizarse mediante dos vías:

- a) **Mensajería o entrega personal** en la Dirección General de Investigación y Posgrado, en un sobre cerrado dirigido a Rosa del Carmen Zapata editora de la revista, el cual deberá

contener artículo impreso, archivos del artículo e ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor contacto.

- b) **Correo electrónico** dirigido a la editora de la revista, a través de revistaiyc@correo.uaa.mx que contenga archivos adjuntos (*attachment*) con el artículo, las ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor contacto.

Es importante que el autor conserve una copia de los archivos y de la impresión enviada.

Colaboración e informes

Revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

Dirección General de Investigación y Posgrado
Departamento de Apoyo a la Investigación
Av. Universidad núm. 940, C.U.,
Edificio 1-B, segundo piso.
C.P. 20131, Aguascalientes, Ags.
Teléfono/Fax (449) 910-74-42

Correo electrónico: revistaiyc@correo.uaa.mx
www.uaa.mx/investigacion/revista