

VOLUMEN 11
NÚMERO 2 ENE-JUN
2017



Detección de HLB en cítricos ▶ **93**



La GENERACIÓN del
CONOCIMIENTO
con VALORES



**Construcción de la identidad
de universitarios
españoles emigrados** ▶ **64**



**Producción de energía
eléctrica: eólica y
solar fotovoltaica** ▶ **105**



© Catalina Elvira Espinosa Vega

Caracterización del sistema físico-geográfico que influye en las multiamenazas de la subcuenca del río Caldera, Panamá

Physico-geographical characterization of the system that influences the multi-hazards in the sub-basin of Caldera River, Panama

Catalina Elvira Espinosa-Vega^{1,2*}

Arkin Alain Tapia-Espinosa³

Eduardo Camacho-Astigarrabia³

Yarelis Sánchez-Sánchez⁴

¹Universidad de Quintana Roo, División de Ciencias e Ingeniería, Boulevard Bahía S/N, Esq. Ignacio Comonfort, Del Bosque, Chetumal, Quintana Roo, México, C.P. 77019.

²Universidad Autónoma de Chiriquí, Facultad de Humanidades, Departamento de Geografía, Ciudad Universitaria-El Cabrero, David, Chiriquí, Panamá, C.P. Estafeta Universitaria, Apartado 0427.

³Universidad de Panamá, Instituto de Geociencias, Urbanización El Cangrejo, Vía Simón Bolívar con la intercepción de la Vía Manuel Espinoza Batista y José De Fábrega, Provincia de Panamá, Panamá, Panamá, C.P. Estafeta Universitaria, Apartado 3366.

⁴Ministerio de Ambiente de Panamá, Departamento de Geomática, Sede Principal Calle Broberg, Edif. 804, Ancón, Panamá, Panamá, Apartado C-0843-00793.

***Autora para correspondencia:**
esvecaellabsig@gmail.com

Fecha de recepción:
25 de enero de 2016

Fecha de aceptación:
13 de septiembre de 2016

RESUMEN

La caracterización del sistema físico-geográfico constituye una herramienta que permite determinar las multiamenazas generadas por los fenómenos naturales. El término de multiamenaza describe la presencia de más de una amenaza relevante en el geosistema con interacciones en diferente nivel. El objetivo de este trabajo fue la caracterización de los factores del sistema físico-geográfico de la subcuenca del río Caldera, Panamá, que pueden ser considerados como multiamenazas naturales y que influyen en el riesgo a desastres del área. Se estudió la geología, geomorfología, climatología, edafología e hidrografía de la zona. Se realizó un análisis sistémico, complementado con el trabajo de campo, utilizando el método di-

recto, sobre la base del criterio experto o método heurístico. Se determinó que las principales amenazas que ocurren en el área de estudio son de origen sísmico, volcánico, la alta susceptibilidad por inestabilidad de laderas y las inundaciones. Dichas amenazas y su relación con la acción antrópica deben ser consideradas dentro de los planes de ordenamiento territorial y en la gestión del riesgo de desastres existentes en esta zona de Panamá.

PALABRAS CLAVE: sistema físico-geográfico, multiamenazas, gestión local del riesgo, subcuenca del río Caldera, Panamá.

ABSTRACT

The characterization of the physico-geographical system is a tool used to determine the mul-

ti-hazards generated by natural phenomena. The term multi-hazard describes the presence of more than one relevant hazard in the geosystem with different levels of interaction. The aim of this work was the characterization of the physico-geographical factors that can be considered as multi-hazard, and influence the disaster risk for the sub-basin of Caldera River, Panama. A systemic analysis of the geology, geomorphology, climatology, soil science and hydrography of the zone was conducted. Such analysis was complemented by fieldwork, using the direct method on the base of the expert criterion or heuristic method. The results indicate that the main hazards occurring in the study area are related to seismic and volcanic issues and its high vulnerability due to slope instability and flooding. These hazards and their relationship with anthropic action need to be considered in land use plans and disaster risk management in this area of Panama.

KEYWORDS: geographic-physical system, multi-hazards, local disaster risk management, sub-basin of Caldera River, Panama.

INTRODUCCIÓN

La combinación de factores tanto internos como externos del sistema físico-geográfico, conjugada con las acciones antrópicas, pueden generar multiamenazas y aumentar el riesgo a desastres por amenazas naturales (Johnson y Gheorghe, 2013). El término “multiamenazas” se genera como resultado de las políticas internacionales que surgen con la Agenda 21, planteada en 1992, para la reducción del riesgo y el desarrollo sustentable (Kappes y col., 2010; 2012). Este término puede ser referido cuando se presenta más de una amenaza relevante en el geosistema (Van-Westen y col., 2011; 2013) y estas muestran interacción entre ellas (Gill y Malamud, 2014).

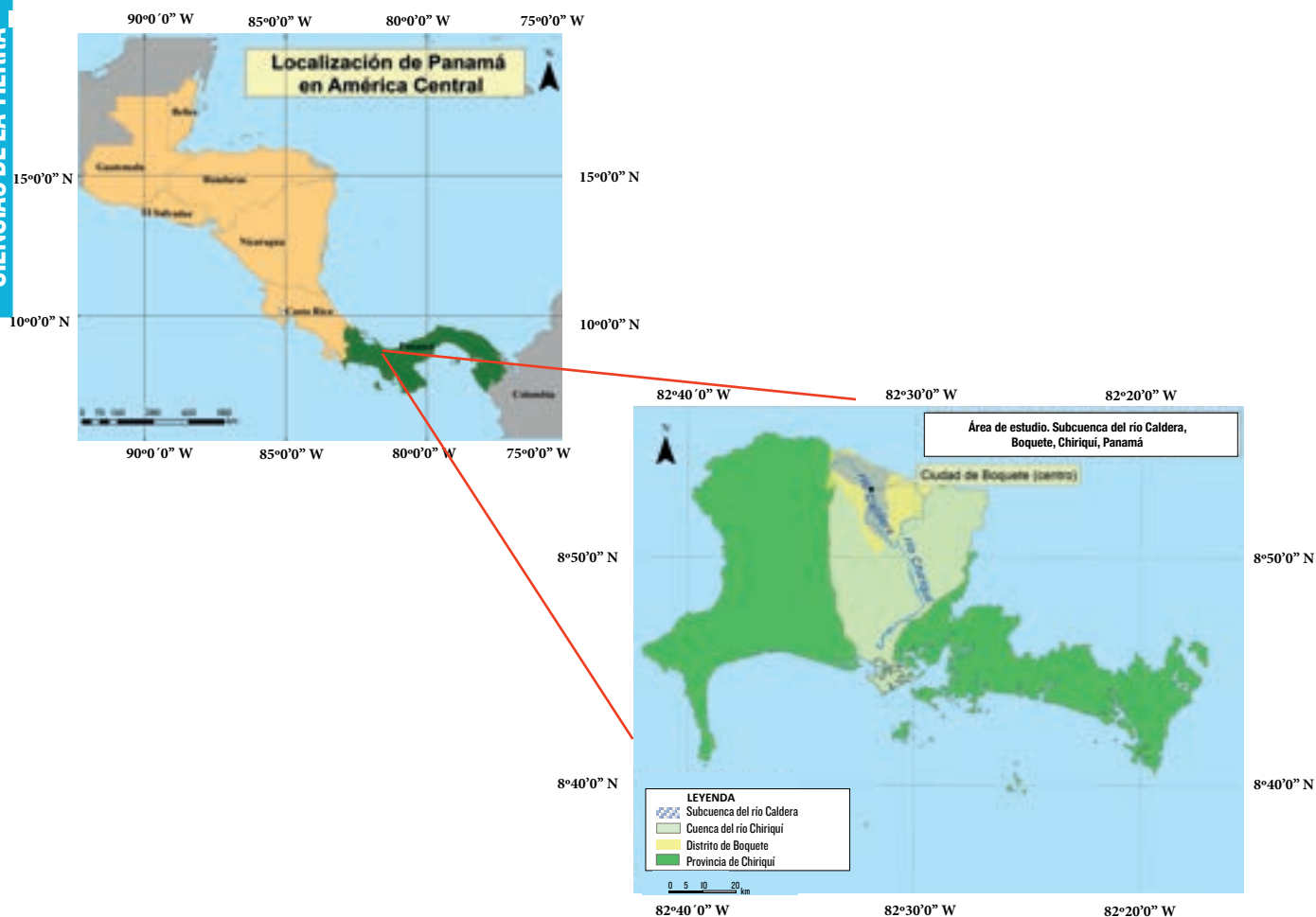
Se han desarrollado diversas investigaciones a nivel mundial, que evalúan las multiamenazas desde enfoques cualitativos y cuantitativos con base a los diferentes factores físico-geográficos y humanos que conforman un sistema social determinado (Marzocchi y col., 2012; Van-

Westen y col. 2013; Komendantova y col., 2014; Fuchs y col., 2015). En cuanto al Istmo Centroamericano, la evaluación de las multiamenazas es incipiente, a pesar de considerarse como “una zona de multiamenazas” (UNISDR y CEPREDENAC, 2014). Dado este hecho, es importante realizar estudios que evalúen las diversas amenazas que pueden afectar un área en esta región, en función de los agentes determinantes como los factores físico-geográficos. La subcuenca del río Caldera se localiza en el distrito de Boquete, provincia de Chiriquí, en el suroccidente de Panamá (Figura 1). La formación de esta subcuenca está condicionada por la combinación de factores físicos, como la geología, geomorfología, climatología, edafología e hidrografía, que generan una complejidad del sistema físico-geográfico. Como consecuencia de esta complejidad, la subcuenca del río Caldera se ve expuesta a amenazas de origen natural y socionatural. Algunas de las amenazas de origen natural generadas por la configuración física-geográfica y que pueden afectar al sistema social son los sismos, el vulcanismo, las inestabilidades de laderas y las inundaciones.

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar el sistema físico-geográfico de la subcuenca del río Caldera en Panamá, que genera las multiamenazas naturales que la afectan.

MATERIALES Y MÉTODOS

La subcuenca del río Caldera está constituida por un relieve montañoso, con elevaciones superiores a 2 000 msnm y pendientes abruptas (Espinosa y Arriaga-Hurtado, 2014). Según la clasificación climática de KÖPPEN-GEIGER (Peel y col., 2007), la subcuenca del río Caldera se caracteriza por un clima templado muy húmedo, con precipitaciones durante todo el año, aunque con una marcada disminución en la época seca (Cf). La precipitación es elevada, sobre todo en los meses de la época lluviosa (mayo a noviembre), con una media anual de 3 466 mm/a (Rogelis y col., 2014) y una escorrentía de 2 433 mm/a (Van-der-Weert, 2009). La población que habita la subcuenca del río Caldera es de 21 370 habitantes (INEC, 2010).



■ **Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.**

Figure 1. Geographic location of the study area.

Fuente: Modificado a partir de IGN (2004); Sánchez (2009); Natural Earth (2016).

Análisis de la información

La primera etapa consistió en un trabajo de campo realizado en el 2012, para delimitar el área de estudio a través de la hoja topográfica de Boquete (IGN, 1993). Se seleccionó la subcuenca del río Caldera por ser la zona de mayor afectación por diversos fenómenos naturales cotidianos y extremos. Se identificaron en campo las coordenadas geográficas del área delimitada, a través de un GPS, y se tomaron fotografías de diversos puntos de afectación por amenazas de origen natural. Además, se realizó una observación directa de la configuración del espacio estudiado, para identificar las unidades geográficas que conforman el geosistema. Meses más tarde, se llevó a cabo una segunda etapa que consideró las u-

nidades geográficas observadas en el trabajo de campo de la primera etapa y se aplicó un análisis sistémico, el cual consistió en identificar los factores y elementos-unidades fundamentales que conforman un geosistema; se caracterizaron cada uno de ellos y se determinaron sus elementos constitutivos sobre la base de la revisión bibliográfica referente a la ciencia geográfica y sus principales enfoques, como los propuestos por Zinck (1988); Verstappen y col. (1991); Strahler y Strahler (2005); Zinck (2012). En este sentido, se establecieron los elementos a considerar en la geología, tales como tipos litológicos, tectónica y vulcanismo; de la geomorfología, el relieve terrestre y sus modificaciones o geoformas; del suelo, los tipos y clasificación; del clima, la

clasificación, temperatura, precipitación, humedad, evapotranspiración y humedad relativa; por último, de la hidrografía, la red fluvial, cauce, caudal y régimen fluvial y la escorrentía.

Con base en la revisión bibliográfica realizada, se desarrolló una tercera etapa, que consistió en otro trabajo de campo (año 2013) en el área delimitada anteriormente (2012). A través de este trabajo de campo se identificó por medio del método directo sobre la base del criterio experto o método heurístico (Soeters y Van-Westen, 1996; Castellanos y Van-Westen, 2007; Miklin y col., 2009), los principales factores que componen el sistema físico-geográfico de la subcuenca del río Caldera y que originan las multiamenazas naturales existentes, entre los cuales está la geología, geomorfología, climatología, edafología e hidrografía. Se consideró el método directo o método heurístico, porque permite establecer indicadores geológicos, como el afloramiento de basaltos y otros materiales volcánicos, los tipos de fallas existentes; geomorfológicos, como las geoformas y características del terreno; hidrológico, como las características del relieve fluvial, que pueden generar procesos causales de las multiamenazas de la subcuenca del río Caldera, a través de la observación directa y con los criterios establecidos por el experto, dado la falta de información documentada sobre el área de estudio. Utilizando los indicadores señalados, se identificaron en campo las fallas existentes, algunas cicatrices de deslizamientos pasados; a su vez, se detectó la presencia de deslizamientos activos. A partir de estas observaciones, se determinó incluir el parámetro de pendiente para establecer el grado de peligro por deslizamiento. En el caso de la amenaza por inundación, se destacan las terrazas de inundación del río Caldera y sus afluentes; además, la erosión hídrica de las pendientes que están en las riberas de los ríos, quebradas y perfiles topográficos, que indican el material que ha sido arrastrado por el río a través de las inundaciones extremas.

Finalmente, la cuarta y última etapa consistió en un trabajo de escritorio, que permitiéndose analizar la información de campo. Por la relevancia de la

sismicidad, en el área de estudio, se generó una curva de amenaza y espectro de amenaza uniforme, con un periodo de retorno de 475 años, en un sitio en el centro de la ciudad de Boquete, con base en el enfoque de PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Assessment): evaluación probabilística de amenaza sísmica en América Central, descrito por Benito y col. (2012). Así mismo, se revisaron las bases de datos que registran los fenómenos geográficos en los ámbitos estudiados, aportados por Redhum (2008); Desinventar (2013); Desinventar (2014); ETESA (2014); Instituto de Geociencias (2014); IRIS (2014); National Hurricane Center (2014) y USGS (2014).

El análisis cartográfico se realizó recopilando la información existente en formato digital: fotografías aéreas tomadas por el Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” en 1977 y 1979; a escalas 1:5 000 y 1:10 000 en Boquete, Panamá. Asimismo, se emplearon capas de datos en formato vectorial y raster para crear mapas a escala 1:50 000, utilizando el programa ESRI, (del inglés *Environmental Systems Research Institute*. Arc Map, v10. California). A través del análisis cartográfico se determinó el grado de las pendientes y las características geomorfológicas de la zona.

Es importante destacar, que una de las limitantes presentadas durante el estudio fue la falta de datos suficientes, de los indicadores del sistema físico-geográfico, debido a que se carece de un registro sistematizado de los datos, ya que no existen redes de vigilancia y monitoreo de multiamenazas.

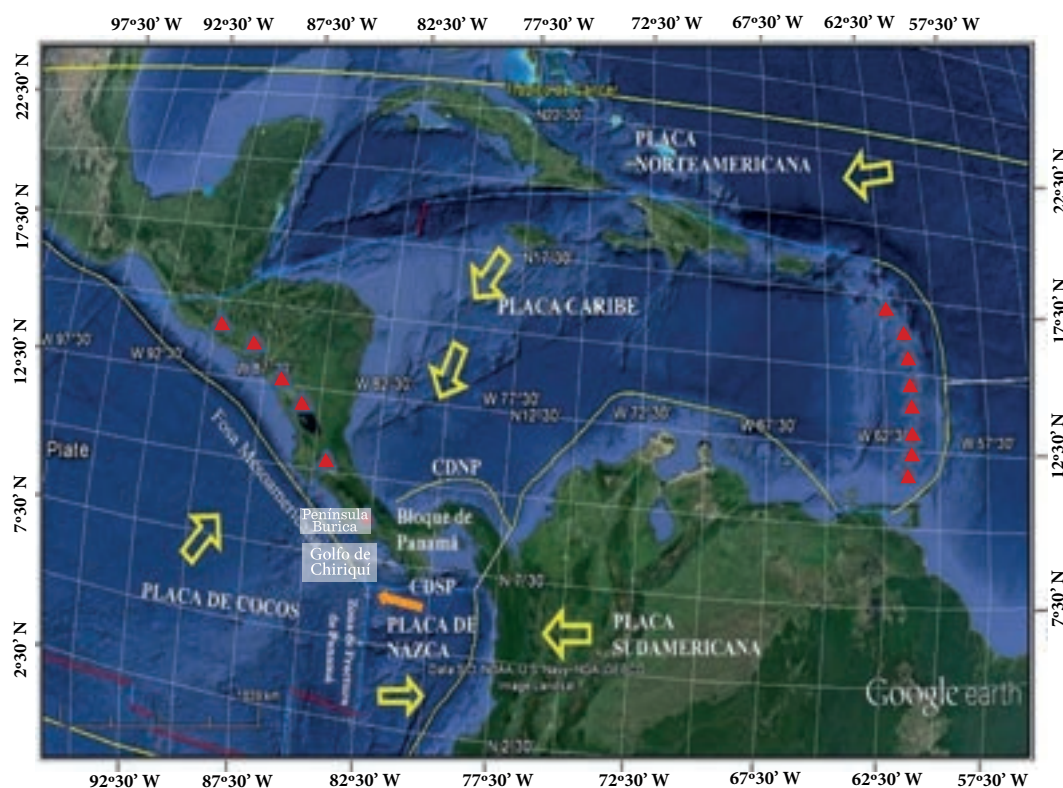
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema geológico

La subcuenca del río Caldera se ubica sobre el Bloque de Panamá, que está rodeado por las placas de Cocos al sur y suroeste, el Caribe al nordeste, la placa Suramericana y la placa de Nazca al sur. Al sur de la península de Burica, en el suroccidente de Panamá, se encuentra el punto triple de Panamá, donde convergen las placas de Nazca, Cocos y el Bloque de Panamá (Figura 2). Al sur y suroeste de la península de Burica, el Blo-

que de Panamá es empujado por la convergencia de la boyante Dorsal del Coco (Kellog y Vega, 1995; Kobayashi y col., 2014). Al este de la península de Burica, en el Golfo de Chiriquí, la Zona de Fractura de Panamá subduce oblicuamente bajo el Bloque de Panamá (Camacho, 2003). Los límites tectónicos principales han sido descritos por Kellog y Vega (1995), Kolarsky y Mann (1995), Mann y Kolarsky (1995), Moore y Sender (1995), Morell y col. (2008), Camacho y col. (2010), entre otros. Estos límites tectónicos generan una alta actividad sísmica en el Bloque de Panamá, caracterizado por sismos superfi-

ciales con magnitudes de hasta $5.7 M_w$ (Escala de Magnitud del Momento), que llegan a alcanzar intensidades de VII MM (Escala de Mercalli Modificada) a pocos kilómetros de epicentro. Sin embargo, los sismos que se originan mar afuera, en la zona de subducción, con magnitudes de $7.0 M_w$ o mayores, no producen intensidades superiores a VI MM en esta zona (White y Harlow, 1993) (Figura 3). La alta actividad sísmica en el Bloque de Panamá ha modificado la forma del relieve en la provincia de Chiriquí. En consecuencia, en el área de estudio se evidencian pequeñas fallas activas, principalmente alrededor



■ **Figura 2. Tectónica de placas de la región de América Central y el Caribe.**
Figure 2. Plate tectonics of the region of Central America and the Caribbean.

Nota: Las flechas amarillas indican la dirección del desplazamiento de las placas; la flecha anaranjada indica el punto de unión triple; las líneas continuas representan los límites de las placas tectónicas; los triángulos muestran la ubicación de algunos de los volcanes en América Central y el Caribe. CDNP = Cinturón Deformado del Norte de Panamá. CDSP = Cinturón Deformado del sur de Panamá.

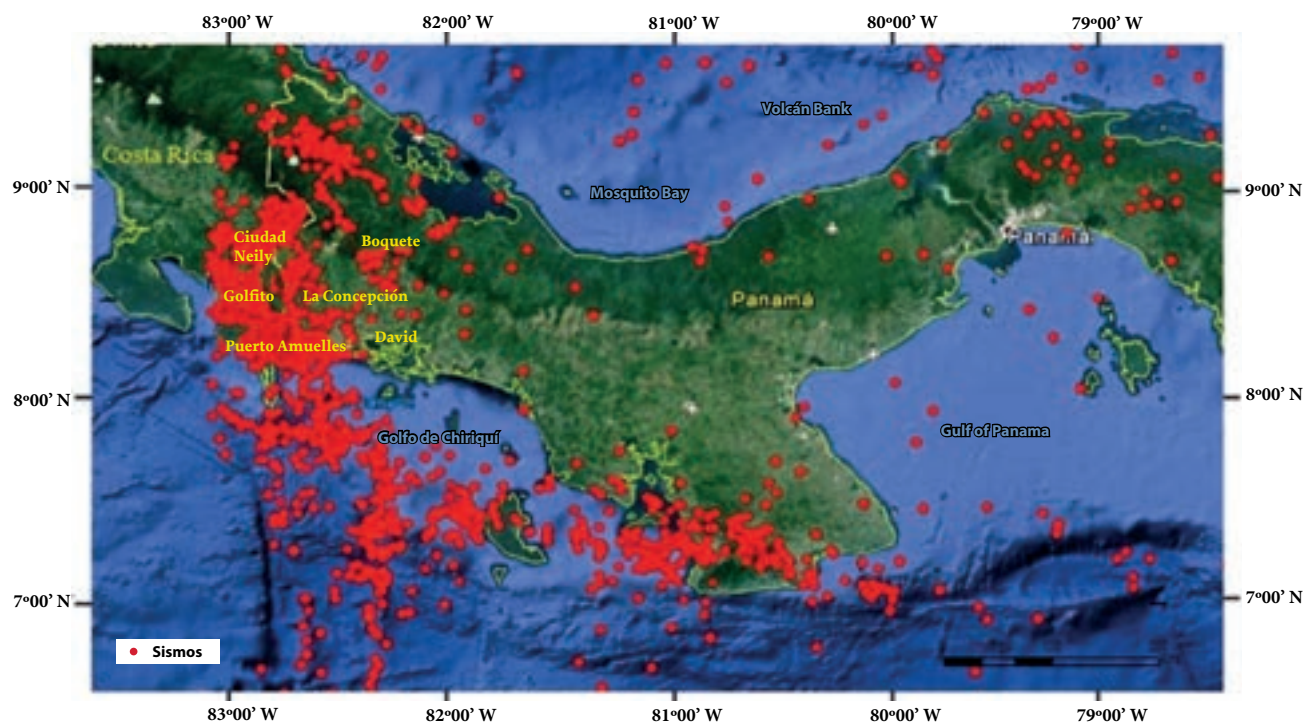
Fuente: Imagen extraída de Google Earth con base a la data de placas tectónicas de la tierra de SIO, NOAA, US Navy, NGA, GEBCO y los trabajos de Adamek y col. (1987), Adamek y col. (1988), Camacho (1991), Kellog y Vega (1995), Kolarsky y Mann (1995), Mann y Kolarsky (1995), Moore y Sender (1995), Westbrook y col. (1995), Vergara (1998), Morell y col. (2008), Camacho y col. (2010).

de la zona de influencia del volcán Barú; estas estructuras han contribuido a la formación de la subcuenca del río Caldera, modificando la forma del relieve y definiendo los cauces de algunos ríos y quebradas. Los estudios de mecanismos focales, de sismos ocurridos en esta área, indican la existencia de fallamiento transcurrente, con planos nodales muy pronunciados, con rumbo ENE-OSO y corrimiento lateral izquierdo o rumbo NO-SE y corrimiento lateral derecho, similares a los de las fallas de la cadena volcánica de El Salvador y el centro de Costa Rica (Camacho y col., 2008). Algunas de estas fallas próximas al área de interés han sido cartografiadas y denominadas como Horqueta, Norte Bajo Mono, Jaramillo, así como Quebrada Cenizas, Grande y Quebrada Manuela (Figura 4) (Torales y Ho, 2006; Sherrod y col., 2008; Sánchez, 2009).

Por otra parte, la actividad volcánica en la provincia de Chiriquí se evidencia por un eje volcánico, que inicia muy cerca de la frontera con

Costa Rica, desde el complejo volcánico Colorado Tisingal, dentro de los cuales se presentan algunos aparatos volcánicos del Cuaternario, como los volcanes Colorado, Barú y Hornitos (Camacho, 2009). Por su localización en el área de estudio, se destaca la influencia del volcán Barú, que según expresan Sherrod y col. (2008: 3), es: “potencialmente activo y ha tenido cuatro episodios eruptivos durante los últimos 1 600 años, incluyendo su erupción más reciente hace aproximadamente 400 a 500 años. Desde 1930 se han reportado episodios de enjambres sísmicos, aproximadamente cada 30 años, al sureste del volcán Barú, que duran de 4 a 6 semanas, con magnitudes que no superan los 4.5 M_w , y mecanismos focales, predominantemente transcurrentes. El último enjambre importante ocurrió en mayo de 2006 y causó gran alarma en la población (Camacho, 2009).

En consecuencia, a los procesos geológicos derivados del volcán Barú y otras estructuras volcánicas más antiguas, se presentan en la sub-



■ **Figura 3. Sismicidad del Bloque de Panamá.**
Figure 3. Seismicity of the Panama Block.

Fuente: Modificado a partir de datos del Instituto de Geociencias, 2014.

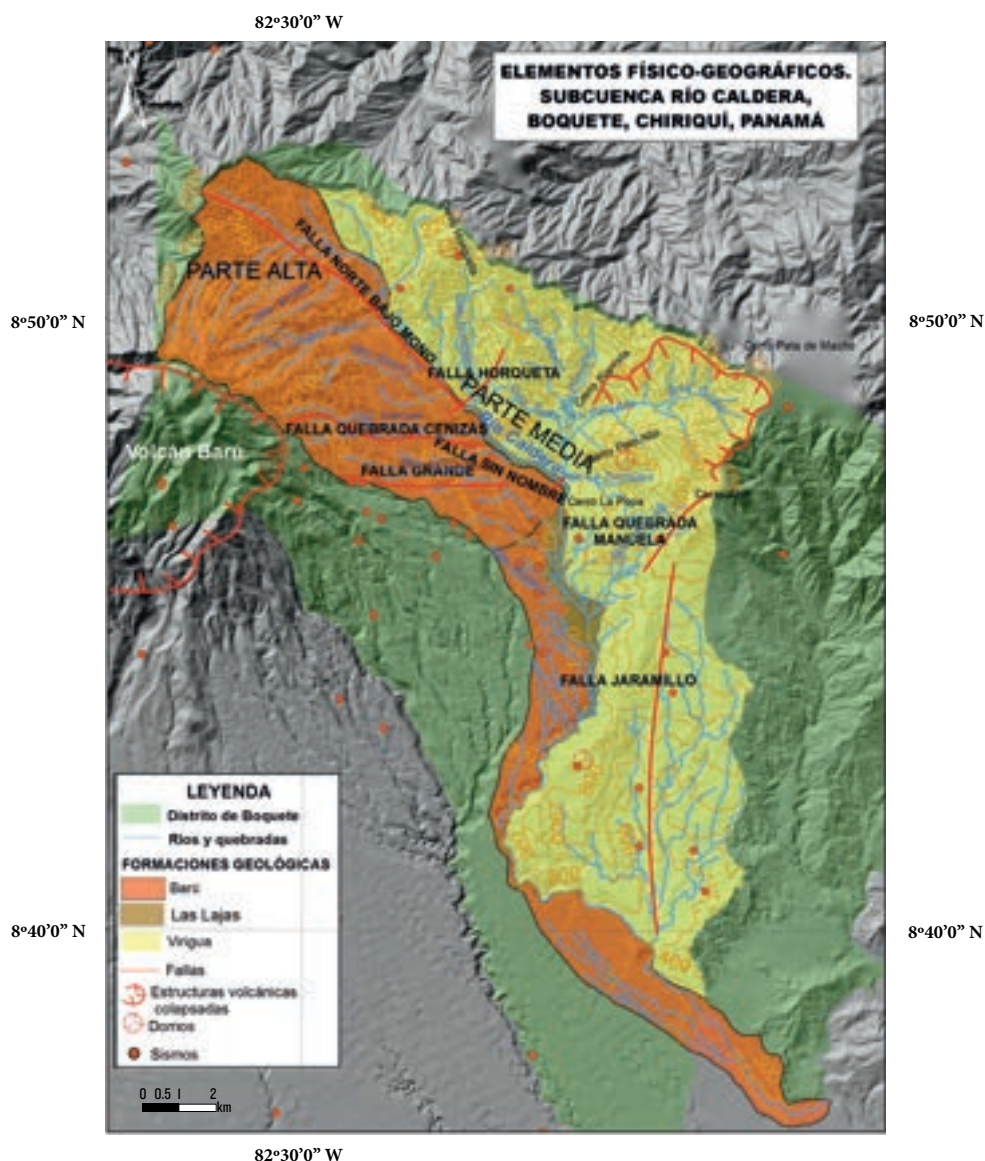


Figura 4. Elementos físico-geográficos en la subcuenca del río Caldera.

Figure 4. Physico-geographical elements in the sub-basin of the Caldera River.

Fuente: Modificado a partir de datos de Sánchez, 2009; Instituto de Geociencias, 2014.

cuenca del río Caldera diferentes formaciones geológicas (Figura 4), como la formación Virigua de mayor antigüedad, en la que se encuentran estructuras volcánicas colapsadas, depósitos de rocas ígneas, como basaltos, lavas, tobas y lahares; la formación Las Lajas, compuesta por depósitos aluviales (cantos rodados), producto del proceso denudacional de la subcuenca del río Caldera. Finalmente, se encontró la formación Barú, conformada por depósitos de rocas basálticas (cenizas volcánicas y pómez), aglome-

rados basálticos, tobas, lavas y materiales laháricos; este tipo de formación domina el área de estudio (IGN, 1991; Sánchez, 2009 y ANAM, 2011).

Sistema geomorfológico

La subcuenca del río Caldera está enclavada en la región de montaña de Chiriquí, con elevaciones superiores a los 2 000 msnm (Figura 4), tal es el caso del cerro Horqueta (2 352 msnm), cerro Azul (2 310 msnm), cerro Pata de Macho (2 197 msnm) y otras elevaciones como los cerros El Pianista

(1 600 msnm) y Palo Alto (1 772 msnm). Esta región de montaña, a su vez se caracteriza por estar constituida por ambientes geomorfológicos, como el ambiente fluvial, el denudacional y el ambiente volcánico (Tabla 1). En este trabajo, se hará énfasis en el ambiente fluvial; el cual presenta rasgos de torrente de regiones de montañas. El cauce del río Caldera está conformado por diferentes patrones geomorfológicos, con unidades morfométricas, como las pendientes abruptas y escarpes, además de las morfogenéticas, con geoformas originadas por los procesos orogénicos que levantaron la Cordillera Central, y morfodinámicas, como los procesos denudacionales, caracterizado por los deslizamientos, la socavación y erosión hídrica (Tabla 2). Considerando como criterio de clasificación la altitud, se puede dividir la subcuenca del río Caldera de la siguiente manera: la parte alta y media. La primera, ubicada al oeste, presenta en el drenaje un mayor porcentaje de cañones y ríos rectilíneos, con la influencia del volcán Barú, que hace que estos sean clasificados como un drenaje radial. A medida que se distancia de la estructura volcánica, el drenaje es de menor pendiente, y el río principal y sus afluentes presentan valles en forma de “V”, con pequeñas terrazas de inundación. En la parte media de la subcuenca se presentan al menos tres terrazas fluviales (Tabla 1), las cuales son ocupadas por la escorrentía y la carga del río Caldera, cuando hay máximas precipitaciones o condiciones climáticas anormales; en esta parte del río, el cauce se hace trenzado o entrelazado, evidenciando la disminución de cambios en la energía de transporte del río, formándose unos cauces complejos convergentes y divergentes, separados por barras de arenas o isletas (Tabla 2). Estos procesos morfodinámicos indican que el río Caldera está llegando al estado de equilibrio y busca el desarrollo de un valle de fondo horizontal para discorrir; dicho en otros términos, la fuerza de arrastre de materiales, causa la erosión de las márgenes del río, así como el ensanchamiento de su lecho de inundación (Strahler y Strahler, 2005).

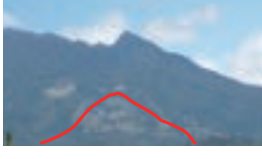
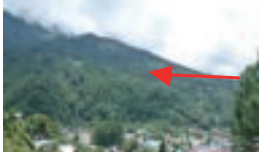
Por debajo de la cota 1 000 msnm, existe un cambio en la forma del drenaje, pasando de cauces en-

trelazados a otros en forma de cañón. Esto puede deberse a un cambio litológico o al grado de compactación del lahar. Este material de socavación del río Caldera y sus afluentes es trasladado aguas abajo del río y depositado en sendas planicies aluviales y de inundación (Figura 4).

Sistema edáfico

Derivado de la composición de las rocas y de los procesos geológicos ocurridos en la región, la subcuenca del río Caldera presenta suelos de orígenes volcánicos y sedimentarios. Estos se caracterizan por alta fertilidad, debido a las cenizas volcánicas recientes que lo componen. También poseen grandes espesores, alta permeabilidad y altos contenidos de materia orgánica. Los suelos de cenizas volcánicas más recientes, que se evidencian en la subcuenca del río Caldera, se formaron una vez que los productos depositados por la última erupción del volcán Barú fuesen alterados por los agentes exógenos, como la lluvia, la temperatura y el viento, entre otros. Estos datos coinciden con los estudios realizados por Sánchez (2009), que con referencia a la taxonomía de suelos Soil Survey (USDA, 1999), identifica cuatro horizontes en los suelos de la subcuenca del río Caldera. El primero se denomina epipedón Úmbrico (U), caracterizado por su acidez y su carácter Ócrico (O), que presentan poco carbono orgánico. El segundo horizonte se identifica como endopedón Cámbico (C), que es un horizonte arcilloso. El tercero, es un horizonte de tipo endopedón Cálcico (Ca), con acumulación de carbonato cálcico o carbonato de magnesio; y el cuarto es un endopedón Óxico, en el que se presentan minerales insolubles como el cuarzo. A pesar de registrarse en la subcuenca del río Caldera suelos de gran espesor y originados a partir de cenizas volcánicas, también se presentan suelos originados a partir del proceso de erosión de las rocas preexistentes, lo cual se relaciona directamente con las pendientes abruptas, el clima y la degradación del medio. Esta erosión natural también es acelerada por la acción antrópica, relacionada con la sobre explotación agrícola, turística y residencial (Cárdenas-Hernández y Gerritsen, 2015).

■ Tabla 1. Ambientes geomorfológicos. Subcuenca del río Caldera.
Table 1. Geomorphological environments. Sub-basin of the Caldera River.

Ambientes	Geoforma	Evidencia
FLUVIAL	Valle aluvial	 ●
	Terraza de inundación	
	Terraza fluvial	
	Garganta o cañón	 ●
DENUDACIONAL	Pie de monte coluvial	
	Colina residual	
VOLCÁNICO	Campos de lava	
	Campos de lahar	

● © Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC)

■ Tabla 2. Características del ambiente fluvial. Subcuenca del río Caldera.
Table 2. Fluvial environment. Sub-basin of the Caldera River.

Patrones	Evidencias	Descripción
Unidades morfométricas		Las líneas rojas señalan los dos niveles de escarpes que ha dejado la corriente del río Caldera en las inundaciones pasadas.
Unidades morfogenéticas		Afloramiento de basaltos en la ribera este del río Caldera.
Unidades morfodinámicas		Socavación hídrica de la corriente del río Caldera en la ribera oeste del río.
Río trenzado o entrelazado		Al fondo de la imagen: vista panorámica de la ciudad de Boquete. La línea negra representa los diversos niveles de terraza dentro del área urbana; en azul se define el cauce del río Caldera y canales alternos. Qr indica material cuaternario; 3 es el más antiguo y 1 el más reciente.
Bloques y material detrítico colapsado		El material colapsado obstruye parte del cauce de la Quebrada Manuela.
Obstrucción del cauce por bloques y material detrítico colapsado		Material detrítico, bloques y cantos rodados que obstruyeron el cauce del río Caldera en la inundación del 22 de agosto de 2008.
Deslizamiento activo		Se observan deslizamientos en el río Palo Alto y Quebrada La Zumbona.
Cambio en la coloración de los sedimentos transportados		En el río Palo Alto se observó una coloración rojiza en los materiales transportados por el río.

Sistema climático

La clasificación climática, de la subcuenca del río Caldera, sobre la base de Köppen-Geiger (Peel y col., 2007), se caracteriza por un clima templado muy húmedo con precipitaciones todo el año, aunque con una marcada disminución en la época seca (Cf). Los datos de la estación meteorológica Los Naranjos (ETESA, 2014), indican una temperatura promedio de 20.5 °C (con variaciones de ± 2.5 °C), determinada básicamente por la topografía montañosa, tal y como se señaló en apartados anteriores. Las temperaturas promedio registradas en la época seca, entre los meses de enero hasta abril, presentan una máxima de 31 °C, y una mínima de 2.8 °C durante la época lluviosa, en el mes de septiembre.

Por otra parte, según la clasificación de Martonne, señalada por McKay (2000), la subcuenca del río Caldera presenta un clima tropical de montaña en el sector cercano a la Cordillera Central, entre los 900 msnm a 1 100 msnm, y un clima tropical de montaña media y alta, ya que muestra elevaciones superiores a 1 600 msnm. Esto es un indicativo de que las variaciones de temperaturas están determinadas por el sistema montañoso, especialmente la Cordillera Central, que también determina la precipitación de la subcuenca, sobre todo en la época seca, por la lluvia orográfica que se registra.

En cuanto a la precipitación, la subcuenca del río Caldera presenta, según los datos de la estación meteorológica Los Naranjos, una media anual de 3 466 mm/a (ETESA, 2014); el mes más lluvioso es octubre y el mes con menor precipitación es febrero, lo cual coincide con las dos épocas climáticas que se desarrollan en Panamá: la época lluviosa y la época seca (UNESCO, 2008). La escorrentía es de 2 433 mm/a según las estimaciones de Van-der-Weert (2009); la evapotranspiración es de aproximadamente 986.81 mm/a (Sánchez, 2009) y la humedad relativa tiene un promedio anual de 85 % (ETESA, 2014).

En cuanto a los fenómenos atmosféricos, como los ciclones tropicales que se forman cercanos al área de estudio, no ejercen influencia directa en

la subcuenca del río Caldera, sino que la afectan indirectamente.

Sistema hidrográfico

El curso del cauce del río Caldera está determinado en gran medida por la geología, sobre todo por las fallas existentes, tanto en la Quebrada Horqueta, como en la confluencia del río Caldera, Palo Alto y la Quebrada la Zumbona (UP, 1990; Herrera, 2003; Toral y Ho, 2006; Sherrod y col., 2008; Sánchez, 2009) (Figura 4).

La subcuenca del río Caldera tiene un sistema de drenaje con una sola salida, conectada a la cuenca del río Chiriquí (Figura 1), siendo esta de tipo exorreica; a su vez, su patrón de drenaje es radial, con afluentes que discurren por la ladera norte de la estructura volcánica del Barú, los cuales aportan gran caudal al río Caldera. Dentro de esos afluentes se destacan principalmente los ríos Palo Alto, Palomo y Pianista; así como las quebradas: Horqueta, Taylor, Cristal, La Zumbona, Jaramillo, El Velo, Callejón Seco, Cenizas, Aserrió, Grande, y Agustín. El patrón de drenaje tiene forma dendrítica y subparalela en la parte media y sur de la subcuenca del río Caldera.

Con relación al caudal, la subcuenca del río Caldera tiene un promedio de 10.3 m³/s (ETESA, 2009), correspondiente a la escorrentía de 2 433 mm/a (Van-der-Weert, 2009). Los caudales máximos del río Caldera se presentan en los meses de la época lluviosa, desde el mes de agosto, y continúan con un aporte significativo en la época seca, hasta el mes de enero. Existen factores meteorológicos del sistema climático que determinan los caudales de los ríos en Panamá y que también influyen directamente en la subcuenca del río Caldera, tales como la temporada de huracanes en el Atlántico, que no afecta directamente el área, pero si propicia lluvias intensas, los frentes fríos que activan la Zona de Convergencia Intertropical y los sistemas de baja presión, además de las ondas activas del este (ETESA, 2009). Aunado a estos factores, en la época seca, como ya se mencionó, se registra la lluvia orográfica o bajareque, influenciada por

los vientos alisios del nordeste la cual, provoca la acumulación de agua subterránea, aumentando la escurrentía y con ello la carga a la subcuenca, contribuyendo al aumento del caudal.

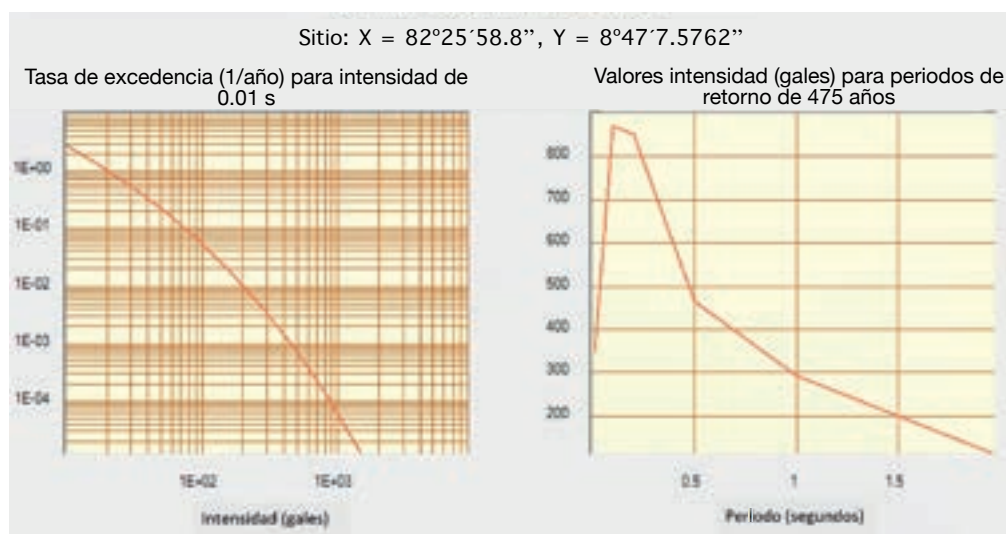
Multiamenazas

La subcuenca del río Caldera presenta más de una amenaza asociada a eventos de origen físico-geográfico. Una de las amenazas es la actividad sísmica, generada por el tectonismo que origina las fallas activas en esta subcuenca. Los resultados de la curva de amenaza sísmica y el espectro de amenaza uniforme para el centro de la ciudad de Boquete (Figura 5), indicaron que la aceleración máxima del terreno esperada para esta localidad, con un 90 % de no excedencia en 50 años, es de 350 cm/s^2 o gales, evidenciando que la amenaza sísmica para esta región del país es moderada, en comparación con otros centros urbanos de la zona fronteriza Panamá-Costa Rica, como las ciudades de David, Concepción y Puerto Armuelles en Panamá; Ciudad Neily y Golfito en Costa Rica (Figura 3).

Otra amenaza, es la actividad eruptiva del volcán Barú. Los enjambres sísmicos que se presentan

y el periodo eruptivo, indicaron el alto riesgo volcánico al que se expone el sistema social. Las erupciones pasadas del Barú incidieron en la tipología de las rocas presentes en la subcuenca y la conformación de los afluentes que nacen en las faldas de este volcán, constituyendo canales capaces de encauzar los lahares y la lava, en caso de materializarse la amenaza volcánica.

Una amenaza más, que presenta el área de estudio, es la alta susceptibilidad por inestabilidad de ladera. En el trabajo de campo, realizado en enero de 2012, se observaron deslizamientos activos, de los cuales se obtuvo evidencia de escombros y masas de tierra, desprendidas de los cerros y escarpes que están en las márgenes de los afluentes de la subcuenca del río Caldera y que obstruyeron el libre cauce del sistema fluvial. Esto se comprobó fundamentalmente en la Quebrada La Zumbona y en el río Palo Alto, donde se observó más de 18 deslizamientos activos. Algunos de estos procesos de remoción en masa, han dejado cambios significativos en los diferentes ambientes geomorfológicos de la zona, como la deposición en forma de abanico aluvial, grandes cicatrices de corona en algunos



■ **Figura 5. Curva de amenaza y espectro de amenaza uniforme. Ciudad de Boquete.**

Figure 5. Hazard curve and uniform hazard spectra. City of Boquete.

Nota: Esta curva se generó para el centro de la ciudad de Boquete, con un tiempo de retorno de 475 años (10 % de excedencia en 50 años). Obsérvese que esto corresponde a una aceleración máxima o PGA de 350 cm/s^2 .

Fuente: Modificado a partir de Benito y col. (2012).

de los cerros de la región, cambios en los patrones de drenaje del río Caldera, y procesos de socavación lateral en los ríos y quebradas de la zona; incluso, se identificaron cambios en la coloración de los sedimentos transportados (Tabla 2). En consecuencia, se determinó el nivel de peligro de los principales eventos por deslizamientos que se han registrado en la subcuenca del río Caldera. Se establecieron parámetros como la pendiente del terreno, la localización del evento, la precipitación y los sismos, debido a la inexistencia de otros datos paramétricos, como el escurrimiento potencial acumulado, formaciones superficiales, uso y cobertura del suelo, que permiten la evaluación de la amenaza y su correspondiente categorización (Tabla 3). Así mismo, los datos evidenciaron que los deslizamientos ocurren por la presencia de rocas meteorizadas y fracturadas; suelos de poco espesor o suelos de gran espesor, susceptibles a la erosión y lixiviación, relacionada a su vez a la elevada escorrentía y la abundante precipitación en la época lluviosa; además de suelos aluviales poco cementados; también influyen las pendientes abruptas de 45° que se presentan desde la cota 3 300 msnm a 1 400 msnm y las fallas existentes.

Otra de las amenazas relacionadas con las anteriores, son las inundaciones. Estas constituyen, por su magnitud y frecuencia, una de las principales amenazas que se presentan en la región estudiada y es el fenómeno que ha generado más daños y pérdidas (Rogelis y col., 2014). Las inundaciones se originan por la abundante precipitación pluvial y escorrentía que presenta la subcuenca, tanto en la época seca, como en la lluviosa. Se destaca la elevada escorrentía en la época seca, periodo que comprende los meses que van de diciembre a abril y que según Van-der-Weert (2009), es producto del agua subterránea almacenada durante la época lluviosa que discurre en los meses de época seca, relacionado a su vez con la evapotranspiración real muy baja. Además, se suma la lluvia orográfica que producen los fuertes vientos alisios —conocida por los lugareños como “bajareque o norte”— y que azotan el área desde el mes de diciembre hasta marzo, y a su vez el aumento de la humedad relativa arriba

de 97 %, según muestran los datos de la estación Los Naranjos (ETESA, 2014), lo que hace aún más lenta la evapotranspiración (Tabla 4).

CONCLUSIONES

La caracterización del sistema físico-geográfico realizada en la subcuenca del río Caldera permitió establecer la existencia de multiamenazas en el área de estudio, así como los factores y elementos naturales que determinan su origen. El tectonismo de la Zona de Fractura de Panamá es uno de los principales agentes detonantes de la sismicidad moderada que se presenta en el área de estudio. El volcán Barú, por ser un volcán activo, es un factor de riesgo que requiere no sólo un monitoreo sísmico, sino también, monitoreos geoquímicos, hidroquímicos, de deformaciones y observación visual. Los elementos del sistema climático, como la precipitación y la escorrentía, combinados con los ambientes geomorfológicos de la subcuenca del río Caldera son los principales determinantes que causan los deslizamientos, aumentan el caudal del sistema fluvial y originan las inundaciones. Estas determinantes identificadas, así como la acción antrópica desarrollada en la localidad, deben ser consideradas al momento de establecer estrategias para reducir el riesgo de desastres, y crear planes de ordenamiento territorial. Los resultados obtenidos pueden ser de particular importancia para el Municipio de Boquete, del cual la subcuenca del río Caldera forma parte integral, en especial al considerar que en 2016, en la República de Panamá, se establecieron acciones de descentralización, otorgando a los municipios más recursos para la gestión local del riesgo a desastres.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al gobierno de México a través de la Secretaría de Relaciones Exteriores; al gobierno de Panamá a través de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación, y al Instituto para la Formación y Aprovechamiento de Recursos Humanos, por la beca doctoral otorgada a la M.G. Espinosa-Vega. Al Dr. Juan Carlos Arriaga-Rodríguez, por la dirección de la tesis doctoral.

■ Tabla 3. Inventario de las principales inestabilidades de laderas en la subcuenca del río Caldera, 1970 a 2014.

Table 3. Inventory of the main slope instabilities in the basin of the Caldera river, 1970 to 2014.

Fecha	Sitio de deslizamiento	Descripción de daños	Nivel de peligro
09-11/04/1970	Cauce del río Caldera	Embalses en la cabecera del río. Detonantes de la mayor inundación en la subcuenca del río Caldera	Alto
18/10/1986	San Ramón y Horqueta	Las vías fueron obstruidas por las masas de tierra	Bajo
19/10/1986	Carretera El Salto-Alto Quiel	Las vías fueron obstruidas por las masas de tierra	Bajo
19-20/06/1995	Jaramillo Centro, El Salto y Los Naranjos	Deslizamientos sobre la Quebrada Aserrió. Detonantes para la inundación de esa fecha	Alto
02/10/1996	Avenida Buenos Aires	Obstrucción de la carretera	Bajo
04/10/1996	Avenida Buenos Aires	Deslizamientos que afectaron a cinco viviendas	Bajo
07/07/1998	Río Caldera	Deslizamiento ocasionado por la crecida del Río Caldera. Originó derrumbes en la carretera en varios sectores	Medio
20/09/2002	Norte Bajo Mono	La carretera que conduce hacia la comunidad de Alto Quiel se obstruyó parcialmente	Medio
03/11/2009	Los Jaramillos, Arco Iris, Cerro La Popa, Valle Escondido, Quebrada Aserrió y Quebrada La Zumbona	Flujos de lodo en el cauce de los ríos, que causó embalses y provocó el aumento de caudal de las quebradas señaladas	Alto
22/08/2010	Los Cabezos; en la intersección Norte Bajo Mono-Horqueta; en la ruta hacia Horqueta; en Norte Bajo Mono; en la ruta hacia Volcancito (flujo de deslizamiento en la Quebrada Grande); ruta hacia Pueblo Nuevo-El Salto, ruta Alto Quiel-Callejón Seco; Los Jaramillos; Palmira y Los Ladrillos, parte alta de la microcuenca del río Palo Alto	Flujos de deslizamientos en Quebrada Grande. Socavación y deslizamientos activos en las laderas a orillas de la Quebrada La Zumbona	Alto
03/10/2011	Quebrada La Zumbona	Socavación de laderas a orillas de la Quebrada La Zumbona y río Palo Alto. La masa removida quedó en caudal	Medio
18/9/2013	Jaramillo Centro y Bajo Boquete	Movimientos de masas de suelos en el Cerro La Popa	Bajo

Fuente: Modificado a partir de Solís y Cuevas, 1995; Espinosa, 2009; Espinosa y col. (2010); Desinventar, 2014.

■ Tabla 4. Inundaciones registradas. Subcuenca del río Caldera, 1938 a 2014.
Table 4. Floods registered. Basin of the Calder river, 1938 to 2014.

Núm.	Fecha	Río/afluente	Factor físico detonante	Época climática
1	--/--/1938	Río Caldera	Lluvias	---
2	12/08/1969	Quebrada Horqueta	Lluvias	Lluviosa
3	---/01/1970	Río Caldera	Lluvias	Seca
4	6/04/1970	Río Caldera	Convergencia desde el oeste de Cartagena Colombia, que avanzó en dirección este de Panamá; y se produjo otra masa de aire frío y seco desde el suroeste hacia el este, sobre Costa Rica y el occidente de Panamá. Se produce 367 mm de precipitación en 24 horas.	Seca
5	09-11/04/1970	Río Caldera	Lluvias torrenciales por 3 d, 3 m de altura	Seca
6	--/10/1973	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
7	--/12/1975	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
8	01/10/1981	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
9	--/08/1984	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
10	--/--/1986	Río Caldera	Lluvias	---
11	--/08/1988	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
12	--/10/1989	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
13	4-6/11/1990	Quebradas Callejón Seco, Aserrío y Grande	Alta precipitación: 48 h Lluvias intensas. Registro de precipitación: Los Naranjos 205.4 mm y 98.9 mm Finca Lérica	Lluviosa
14	9-12/10/1991	Río Caldera	4 d de lluvias, el día 11 se registró 269 mm, el 65 % del total. En 1 h, 83 mm (4:00 p.m. a 5:00 p.m.)	Lluviosa
15	13/12/1993	Río Caldera	Lluvias	Seca
16	08/10/1994	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
17	19-20/06/1995	Quebrada Aserrío	Lluvias torrenciales. Caídas después de mediodía, hasta altas horas de la noche	Lluviosa
18	19/06/1996	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
19	29/10/1999	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
20	21/05/2002	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
21	09/01/2005	Río Caldera	Lluvias	Seca
22	22/11/2008	Río Caldera	Sistema de baja presión al este de la frontera de Panamá y Costa Rica, que se desplazó hacia el oeste 242 mm (4 d anteriores 175 mm)	Lluviosa
23	3-4/02/2009	Río Caldera	Precipitaciones	Seca
24	3-5/11/2009	Quebradas La Tusa, Grande y Arce	Lluvias	Lluviosa
25	22/08/2010	Río Caldera, Palo Alto, Quebrada La Tusa y Taylor	Lluvias	Lluviosa
26	26/09/2011	Quebrada Zumbona	Lluvias	Lluviosa
27	11/10/2011	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
28	15/01/2012	Río Caldera	Lluvias	Seca
29	05/03/2012	Río Caldera	Lluvias	Seca
30	22-23/07/2012	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa
31	18/09/2013	Río Caldera	Lluvias	Lluviosa

Fuente: Modificado a partir de UP, 1990; Solís y Cuevas, 1995; base de datos Redhum, 2008 y Desinventar, 2013.

REFERENCIAS

- Adamek, S., H., Tajima, F., and Wiens, D. (1987). Seismic rupture associated with subduction of the Cocos Ridge. *Tectonics*. 6(6): 757-774.
- Adamek, S. H., Frohlich, C., and Pennington, W. D. (1988). Seismicity of the Caribbean Nazca boundary: constraints on microplate tectonics of the Panama Region. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 93(B3): 2053-2075.
- ANAM, Autoridad Nacional del Ambiente (2011). Atlas ambiental de la República de Panamá 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtualImg/AtlasAmbiental.pdf>. Fecha de consulta: 29 de abril de 2014.
- Benito, B. M., Lindholm, C., Camacho, E., Climent, A., Marroquín, G., Molina, ..., and Torres, Y. (2012). A new evaluation of seismic hazard for the Central America Region. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 102(2): 504-523.
- Camacho, E. (1991). The Puerto Armuelles earthquake of July 18, 1934, en *Revista Geológica de América Central*. [En línea]. Disponible en: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/13058/12326>. Fecha de consulta: 28 de marzo de 2014.
- Camacho, E. (2003). Sismotectónica del extremo norte de la Zona de Fractura de Panamá. *Tecnociencia*. 5(2): 139-152.
- Camacho, E. (2009). Sismicidad de las Tierras Altas de Chiriquí. *Tecnociencia*. 11(1): 119-130.
- Camacho, E., Novelo-Casanova, D., Tapia, A., and Rodríguez, A. (2008). Seismicity at Baru Volcano, Western Panama, Panama, in *AGU Fall Meeting in Abstracts. 1: 2051*. [En línea]. Disponible en: https://www.agu.org/meetings/fm10/pdf/AGU_FM10_Scientific_Program.pdf. Fecha de consulta: 25 de julio de 2015.
- Camacho, E., Hutton, W., and Pacheco, J. (2010). A new look at evidence for a Wadatti Benioff Zone and active convergence at the North Panama deformed belt, *Bulletin of the Seismological Society of America*. 100(1): 343-348.
- Cárdenas-Hernández, O. G. y Gerritsen, P. R. (2015). Dinámica paisajística y cambio de cobertura en la comunidad indígena de Cuzalapa, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (1972 a 2000). *CienciaUAT*. 9(2): 30-40.
- Castellanos, A. and Van-Westen, C. J. (2007). Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides*. 4(4): 311-325.
- DESINVENTAR, Sistema de inventario de efectos de desastres (2013). Corporación OSSO. Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://www.desinventar.org/es/>. Fecha de consulta: 22 de mayo de 2014.
- DESINVENTAR, Sistema de inventario de efectos de desastres (2014). Corporación OSSO. Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://www.desinventar.org/es/>. Fecha de consulta: 31 de julio de 2015.
- ETESA, Empresa de Transmisión Eléctrica (2009). Régimen hidrológico de Panamá. [En línea]. Disponible en: http://www.hidromet.com.pa/regimen_hidrologico.php. Fecha de consulta: 6 de marzo de 2014.
- ETESA, Empresa de Transmisión Eléctrica (2014). Datos históricos de temperatura (°C). [En línea]. Disponible en: http://www.hidromet.com.pa/clima_historicos.php. Fecha de consulta: 6 de marzo de 2014.
- Espinosa, C. (2009). *Informe técnico de deslizamientos ocurridos el 3-4 de noviembre de 2009*. [Informe inédito], Laboratorio de Sistema de Información Geográfica. Universidad Autónoma de Chiriquí e Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá. 10 Pp.
- Espinosa, C. E. y Arriaga-Hurtado, I. (2014). Enfoque Sistemático de la gestión local del riesgo por inundación. El caso de la subcuenca del río Caldera en el Distrito de Boquete, Panamá. *Investigaciones Geográficas*. Chile. 48: 53-72.
- Espinosa, C., Tapia, A. y Barría, W. (2010). *Estrategias para la prevención de amenazas por la actividad del Volcán Barú, apoyados con un Sistema de Información Geográfica, en la Provincia de Chiriquí, República de Panamá*. [Informe inédito], Laboratorio de Sistema de Información Geográfica de la Universidad Autónoma de Chiriquí e Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá. 6 Pp.
- Fuchs, S., Keiler, M., and Zischg, A. (2015). A spatio temporal multi-hazard exposure assessment based on property data. *Natural Hazards Earth System Sciences*. 15(9): 2127-2142.
- Gill, J. and Malamud, B. (2014). Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards. *Reviews of Geophysics*. 52(4): 680-722.
- Herrera, L. (2003). El río Caldera y las inundaciones del 9 de abril de 1970 en el Oeste de Chiriquí. Una interpretación desde el punto de vista Geográfico. En L. Lozano (Ed.), *El país que somos. 30 años de Geografía Humana en Panamá* (pp. 59-68). Universidad de Panamá: Instituto de Estudios Nacionales (IDEN).
- IGN, Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" (1991). República de Panamá, mapa geológico, 1: 250 000. Ed. 1, Panamá.
- IGN, Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" (1993). Hoja topográfica de Boquete, 1: 50 000, serie E762. Panamá.

- IGN, Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” (2004). Panamá provincia. [Shapefile Feature Class]. Panamá.
- Instituto de Geociencias (2014). Red Sismológica Nacional. Hoja de cálculo de Microsoft Excel. Panamá.
- INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá (2010). Censos de Población y Vivienda de 1990 a 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.contraloria.gob.pa/inec/>. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2014.
- IRIS, Seismic Monitor (2014). Interactive map of global seismic activity. [En línea]. Disponible en: <http://www.iris.washington.edu/ieb/index.html?format=text&nodata=404&starttime=19700101&endtime=20250101&orderby=timedesc&limit=1000&maxlat=12.98&minlat=-11.35&maxlon=-52.29&minlon=-103.23&zm=5&mt=ter>. Fecha de consulta: 1 de mayo de 2014.
- Johnson, J. and Gheorghe, A. (2013). Antifragility analysis and measurement framework for systems of systems. *International Journal of Disaster Risk Science*. 4(4): 159-168.
- Kappes, M., Keiler, M., and Glade, T. (2010). From single to multi-hazard risk analyses: a concept emerging challenges. En J. P. Malet, T. Glade, and N. Casagli (Eds.), *Mountain risks: bringing science to society* (pp. 351-356). Proceedings of the international conference, Florence: CERIG Editions, Strasbourg.
- Kappes, M., Keiler, M., Von-Elverfeldt, K., and Glade, T. (2012). Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review. *Natural Hazards*. 64(2): 1925-1958.
- Kellog, J. and Vega, V. (1995). Tectonic development of Panama, Costa Rica and the Colombian Andes: Constraints from Global Positioning System geodetic studies and gravity. En P. Mann (Ed.), *Geological and tectonic development of the caribbean plate boundary in Southern Central America* (pp. 75-86). Colorado, USA: The Geological Society of America, Inc.
- Kobayashi, D., LaFemina, P., Geirsson, H., Chichaco E., Abrego, A. A., Mora, H., and Camacho, E. (2014). Kinematics of the western Caribbean: Collision of the Cocos Ridge and upper plate deformation, in *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/261720423_Kinematics_of_the_Western_Caribbean_Collision_of_the_Cocos_Ridge_and_upperplate_deformation#pag:4:mrect:\(309.32,493.70,73.65,8.27\)](https://www.researchgate.net/publication/261720423_Kinematics_of_the_Western_Caribbean_Collision_of_the_Cocos_Ridge_and_upperplate_deformation#pag:4:mrect:(309.32,493.70,73.65,8.27)). Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2014.
- Kolarsky, R. and Mann, P. (1995). Structure and neotectonics of an oblique-subduction margin, southwestern Panama. En P. Mann (Ed.), *Geological and tectonic development of the caribbean plate boundary in Southern Central America* (pp. 131-158). Colorado, USA: The Geological Society of America, Inc.
- Komendantova, N., Mrzyglocki R., Mignan, A., Khazai, B., Friedemann, W., Patt, A., and Fleming, K. (2014). Multi-hazard and multi-risk decision-support tools as a part of participatory risk governance: Feedback from civil protection stakeholders. *International Journal of disaster risk reduction*. 8: 50-57.
- Mann, P. and Kolarsky, R. (1995). East Panama deformed belt: Structure, age, and neotectonic significance. En P. Mann (Ed.), *Geological and tectonic development of the caribbean plate boundary in Southern Central America* (pp. 111-130). Colorado, USA: The Geological Society of America, Inc.
- Marzocchi, W., Garcia-Aristizabal, Gasparini, A. P., Mastellone, M. L., and Di-Ruocco, A. (2012). Basic principles of multi-risk assessment: a case study in Italy. *Natural Hazards*. 62(2): 551-573.
- McKay, A. (2000). Clima y biodiversidad: una nueva clasificación de los climas de Panamá. *Rev. Cultural Lotería*. 431: 47-61.
- Miklin, Z., Jurak, V., Sliskovic, I., and Dolic, M. (2009). Heuristic approach by geotechnical hazard evaluation of the Medvednica Nature Park, in *The Mining-Geological-Petroleum Engineering Bulletin*. [En línea]. Disponible en: <http://hrcak.srce.hr/47245>. Fecha de consulta: 6 de noviembre de 2011.
- Moore, G. and Sender, K. (1995). Fracture zone collision along the South Panama margin. En P. Mann (Ed.), *Geological and tectonic development of the caribbean plate boundary in Southern Central America* (pp. 201-212). Colorado, USA: The Geological Society of America, Inc.
- Morell, K., Fisher, D., and Gardner, T. (2008). Inner forearc response to subduction of the Panama Fracture Zone, southern Central America. *Earth and Planetary Science Letters*. 265 (1-2): 82-95.
- National Hurricane Center (2014). Tropical cyclone advisory archive. National Weather Service. [En línea]. Disponible en: <http://www.nhc.noaa.gov/>. Fecha de consulta: 23 de mayo de 2014.
- Natural Earth (2016). Natural Earth vector. 10 m cultural. [En línea]. Disponible en: <http://www.naturalearthdata.com/>. Fecha de consulta: 9 de marzo de 2016.
- Peel, M. C., Finlayson, B., and McMahon, T. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. 4(2): 439-473.
- Redhum, Red de Información Humanitaria para América Latina y el Caribe (2008). Emergencias en la Región. [En línea]. Disponible en: <http://www.redhum.org/emergencia/>. Fecha de consulta: 19 de diciembre de 2015.
- Rogelis, M., Lam, J., and Ramírez-Cortés, F. (2014). Advances in flood risk assessments for data-limited changing environments. 6th International Conference on Flood Management, Sao Paulo, Brazil. [En línea]. Disponible en: <http://>

www.abrh.org.br/icfm6/proceedings/papers/PAP014415.pdf. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2015.

Sánchez, Y. (2009). *Reporte de susceptibilidad por inestabilidad de laderas en la subcuenca del río Caldera (potencial área de influencia por Amenaza Volcánica del Volcán Barú)*. Panamá: SENACYT, Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. 68 Pp.

Sherrod, D., Vallance, J., Tapia, A., and McGeehin, J. (2008). Volcan Baru; eruptive history and volcano-hazards assessment: U.S., in *Geological Survey Open-File Report 2007-1401*. [En línea]. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/of/2007/1401/>. Fecha de consulta: 28 de marzo de 2014.

Soeters, R. and Van-Westen, C. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. En A. K. Turner and R. Schuster (Ed.), *Landslides investigation and mitigation* (pp. 129-177). Washington, DC: National academy press.

Solís, H. y Cuevas, J. (1995). Modelización hidrológica e hidráulica en la cuenca del río Caldera. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE). Panamá. [En línea]. Disponible en: <http://www.sidalc.net/repdoc/A6550E/A6550E.pdf>. Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2014.

Strahler, A. and Strahler, A. (2005). *Physical Geography: Science and Systems of the Human Environment*. New York: John Wiley & Sons, Incorporated. 794 Pp.

Toral, J. y Ho, C. (2006). Monitoreo y análisis preliminar de la sismicidad alrededor de Boquete (Informe técnico). Universidad Tecnológica de Panamá. Centro Experimental de Ingeniería. Laboratorio de Ingeniería Aplicada. Sección de sismología. [En línea]. Disponible en: <http://www.cei.utp.ac.pa/documentos/2010/pdf/InfoBolquete2.pdf>. Fecha de consulta: 26 de marzo de 2014.

UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2008). Balance hídrico superficial de Panamá, Periodo 1971-2002, en *Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 9*. [En línea]. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001591/159103s.pdf>. Fecha de consulta: 10 de marzo de 2014.

UNISDR, Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres y CEPREDENAC, Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en Centroamérica (2014). Informe regional del estado de la vulnerabilidad y riesgos de desastres en Centroamérica. [En línea]. Disponible en: <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/40079>. Fecha de consulta: 12 de junio de 2014.

UP, Universidad de Panamá (1990). *Desastres Naturales y Zonas de riesgo en Centroamérica: condiciones y opciones de*

prevención y mitigación. Ciudad de Panamá: Panamá. Instituto de Estudios Nacionales. 118 Pp.

USDA, United States Department of Agriculture (1999). Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. [En línea]. Disponible en: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf. Fecha de consulta: 14 de mayo de 2014.

USGS, United States Geological Survey (2014). Earthquake Hazards Program. [En línea]. Disponible en: <http://earthquake.usgs.gov/monitoring/?source=sitenav>. Fecha de consulta: 23 de mayo de 2014.

Van-der-Weert, R. (2009). *Flooding of the Caldera river*. Report PUM mission to Panama. Boquete. 38 Pp.

Van-Westen, C., Alkema, D., Damen, M., Kerle, N., and Kingma, N. (2011). Multi-hazard risk assessment. Distance education course. Guide book. United Nations University – ITC School on Disaster Geoinformation Management (UNU-ITC DGIM). [En línea]. Disponible en: ftp://ftp.itc.nl/pub/vanwesten/Multi_hazardrisk_course/Guidebook/Guidebook%20MHRA.pdf. Fecha de consulta: 25 de julio de 2015.

Van-Westen, C., Damen, M., and Feringa, W. (2013). National scale multihazard risk assessment. University Twente, Faculty of Geo Information Science and Earth Observation (ITC). Enschede, The Netherlands. [En línea]. Disponible en: http://www.itc.nl/library/papers_2013/general/vanwesten_pprd_theory_2013.pdf. Fecha de consulta: 25 de julio de 2015.

Vergara, A. (1998). Tectonic pattern of the Panama Block deduced from seismicity, gravitational data and earthquake mechanism: Implications to the seismic hazard. *Tectonics*. 154: 253-267.

Verstappen, H., Van-Zuidam, R., Meijerink, A., and Nossin, J. (1991). *The ITC system of geomorphologic survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards*. Enschede: ITC. 89 Pp.

Westbrook, G., Hardy, N., and Heath, R. (1995). Structure and tectonics of the Panama-Nazca plate boundary. *Geological Society of America Special Papers*. 295: 91-110.

White, R. and Harlow, D. (1993). Destructive upper crustal earthquake in Central America since 1900. *Bull. Seism. Soc. Am.* 83(4): 1115-1142.

Zinck, J. (1988). *Physiography and soils, ITC Lecture Note SOL.4.1*. Enschede: ITC. 156 Pp.

Zinck, J. (2012). Geopedología. *Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Enschede: The Netherlands. 123 Pp.



Tomado de: <https://pixabay.com/es/carro-de-oro-carro-de-mina-carrito-481249/>

Geoparque en el Distrito Minero Tlalpujahua—El Oro

Geopark in Tlalpujahua—El Oro Mining District

Luis Miguel Espinosa-Rodríguez

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía, Ciudad Universitaria, Cerro de Coatepec S/N, Toluca, Estado de México, México, C.P. 50110.

Correspondencia:

geo_luismiguel@hotmail.com

Fecha de recepción:

27 de enero de 2016

Fecha de aceptación:

12 de septiembre de 2016

RESUMEN

La creación y declaratoria de los geoparques en el mundo ha sido exitosa, debido a la capacidad de gestión ambiental y social que poseen. La noción de desarrollo local, a través de la administración de estos territorios en México, se impulsa con investigación enfocada al análisis de potencialidad de los territorios desde hace unos años. El objetivo de este trabajo fue conocer el potencial que posee el distrito minero Tlalpujahua-El Oro para aspirar a ser declarado geoparque. A través de un sistema de evaluación matricial se obtuvieron los índices de patrimonio geológico y geomorfológico, de cultura y educación, economía y servicios, protección y legislación, y de accesibilidad, para determinar el potencial geológico, geomorfológico, cultural y socioeconómico, además de la fundamentación teórica. Se

encontraron condiciones favorables para poder conformar al distrito minero como un geoparque, al determinar el valor biótico, histórico y cultural de la mina Dos Estrellas. Lograr esta denominación impulsaría el crecimiento social y económico de la región, teniendo a la geoconservación como eje rector e integrador de la propuesta.

PALABRAS CLAVE: geoparque, geodiversidad, patrimonio, geositos, geomorfositos.

ABSTRACT

The establishment and declaration of geoparks in the world has been successful due to the ability of environmental and social management that they possess. The notion of local development through the administration of these territories in Mexico has been driven for several years by research focused on the analysis

of potential in natural heritage territories. The objective of this work was to determine the potential of Tlalpujahua-El Oro Mining District to be declared geopark. The indices of geological and geomorphological heritage, culture and education, economy and public services, protection and legislation and accessibility were obtained through a matrix assessment system. After determining the biotic, historical, and cultural value of the mine, it is concluded that favorable conditions were encountered in order to declare this territory as a geopark. Achieving this denomination would foster the social and economic growth of the region, with geopreservation as the guiding principle of the proposal.

KEYWORDS: geopark, geodiversity, natural heritage, geosites, geomorphosites.

INTRODUCCIÓN

Los geoparques se definen como territorios con límites bien definidos y una superficie apropiada para permitir el desarrollo socioeconómico; a partir de la importancia científica, histórica, rareza y belleza de sitios geológicos. El atractivo de estos lugares incluye aspectos de carácter ecológico, arqueológico, histórico, cultural y paisajístico. Asimismo y de manera específica, estos lugares se enfocan en el desarrollo de tres actividades sustantivas: la conservación, la educación y el geoturismo. Un territorio sujeto a esta perspectiva posee un objetivo de desarrollo múltiple, en donde la protección al geopatrimonio y al medio ambiente, la legislación, las actividades educativas, científicas y el esparcimiento encuentran un eje rector común. El nombramiento de geoparque lo otorga la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), y es una condición que involucra aspectos relacionados con la geodiversidad y la geoconservación (Eder, 1999: 353; UNESCO, 2008: 49-53).

El concepto de geodiversidad fue introducido por el geógrafo Gray (2004: 3), de acuerdo

con la propuesta teórica de Brilha (2005: 17), quien integró las cuatro esferas básicas que conforman al planeta: geoesfera, biosfera, hidrósfera y atmósfera. Sin embargo, la noción que involucra este término es compleja y para todo caso, incluye la variable Kantiana de tiempo y espacio. La construcción del significado científico de geodiversidad recurre a la noción misma de la estructura y funcionamiento del planeta como ente integrante del cosmos y del sistema solar, en donde a éste se le puede definir como una anomalía de orden geofísico y geoquímico, que en el transcurso de la historia cósmica y geológica ha permitido el desarrollo de la vida, tal cual se supone y conoce (Mateo, 2002: 27). Dicho concepto define que las condiciones básicas de desarrollo geográfico de una región están determinadas por regularidades y ciclos temporales de acción que inciden en los contrastes que se generan en la geología, la geomorfología, los procesos de orden endógeno, climático y meteorológico, estableciendo un continuo proceso de evolución y una dinámica distintiva del entorno. Estos cambios forman parte del concepto geodiversidad y son competencia de la geoconservación (Figura 1).

Actualmente existen diversas acepciones al término “geodiversidad”, y uno de los más aceptables es el referido por la *Royal Society for Nature Conservation* del Reino Unido (Brilha, 2005). El concepto se define como “la variedad de ambientes, fenómenos y procesos geológicos que dan origen a paisajes, rocas minerales, suelos, fósiles y depósitos, que constituyen el sustrato de la vida en la Tierra”. De este concepto se derivan y replantean diferentes concepciones y puntos de vista (Tabla 1). La geodiversidad y el patrimonio permiten valorar y comprender al grupo de procesos involucrados en el origen del relieve, que modelan la superficie del planeta, según se estipula en la Declaración de la Memoria de la Tierra (Muñoz, 1988: 85; Dias y col., 2003: 132). Entre tanto y desde la perspectiva mercantil, Brilha (2013), refiere que: “El valor económico se encuentra conformado por el con-



■ Figura 1. Diagrama que representa los elementos estructurales de la geoconservación. Modificado a partir de principios establecidos por Brilha (2002); Gray (2004); Brilha (2005); Carcavilla y García (2010); Henríquez y col. (2011); Carcavilla y col. (2012); Bratton y col. (2013).

Figure 1. Diagram showing the structural elements of geopreservation. Modified by taking into consideration the principles established by Brilha (2002); Gray (2004); Brilha (2005); Carcavilla y García (2010); Henríquez y col. (2011); Carcavilla y col. (2012); Bratton y col. (2013).

junto de recursos minerales y energéticos”; toda vez que lo funcional a los servicios *in situ*, es decir, a todos aquellos que proveen alguna mejora-servicio al hombre, así como al sustrato de sistemas físicos y ecológicos.

La aplicación de los conceptos referidos ha generado en el tiempo presente nuevas conceptualizaciones, metodologías y procesos de validación de las mismas; en este sentido, se destacan los aportes de autores como Vegas y col. (2012: 2); García y Carcavilla (2013: 7); García y col. (2013: 157); Vegas y col. (2013a: 1-10); Vegas y col. (2013b: 158-167), quienes han concentrado métodos y/o guías para la elaboración de inventarios o recuentos de elementos patrimoniales; los cuales, y con aporte de otros autores, han resultado en inventarios de propiedad, de conocimiento del usufructo natural y del propio recurso, como se observa en estudios de caso expuestos en la Tabla 2.

La conceptualización y metodología para evaluar la geodiversidad resulta compleja y aún cuestionable en el tiempo presente. Entre las principales variables empleadas para obtener elementos de calificación paramétrica, cualitativa y cartográfica, se encuentran aspectos de orden litológico, estratigráfico, geomorfológico, hidrológico, paleontológico y pedológico; los cuales, en conjunto, definirán geomorfositos y geositos.

Estudios fundamentales establecen que el planeta posee regularidades de composición y estructura, de diferenciación espacial o territorial, de ritmo y desarrollo, de funcionamiento, circulación de energía y sustancias y de integridad (Mateo, 1984: 146-189; Salinas, 1989: 157-171; Mateo, 2002: 29-38; Mateo y col., 2012: 249). Los trabajos citados definen algunos de los distintivos que otorgan al planeta características únicas de diferenciación, tales como la presencia y dinámica del campo

■ Tabla 1. Conceptos y perspectivas de la geodiversidad.
Table 1. Concepts and perspectives of geodiversity.

Autor	Considerandos
Cortés y col. (2000: 48)	Proponen criterios de geoconservación por medio de la elaboración de catálogos e inventarios de sitios de interés geológico.
Dingwall (2000: 15-19)	Expone criterios legales y de homologación para la aplicación y seguimiento de políticas de conservación y administración territorial.
Nieto (2001: 7-10)	Integra los conceptos de biodiversidad y geodiversidad para generar un nuevo constructo a partir de las deficiencias bibliográficas existentes a principios del nuevo siglo.
Zouros (2004: 27)	Establece criterios para el desarrollo de actividades geoturísticas normadas bajo criterios de homogeneidad en Europa.
Bruschi (2007: 7)	Propone un método de clasificación y valoración cualitativa de la geodiversidad <i>versus</i> la subjetividad y a favor de la gestión.
Bruschi y Cendrero (2007: 239)	Arguyen la capacidad para valorar y clasificar la intangibilidad de los geositos y proponen criterios de análisis para la protección y manejo territorial.
Fernández (2007: 77)	Propone una metodología para la evaluación de la geodiversidad en territorios de América del Sur a partir de inventarios.
Bruschi y col. (2011: 131)	Establecen una metodología paramétrica para valorar sitios de interés geológico y de valor patrimonial.
Burek (2012: 45)	Analiza los principios de valoración de la geodiversidad y geoconservación en el Reino Unido y determina la importancia de la interpretación y análisis territorial para el desarrollo local.
Corvea y col. (2014: 1-16)	Analizan y adaptan metodologías de geoconservación para el territorio cubano; analizan la base teórica de la geología y establecen interrelaciones con áreas de protección.
Salazar y col. (2014: 307)	Establecen principios rectores de la geoconservación, empleando criterios geomorfológicos para la gestión y protección patrimonial.

magnético, la heterogeneidad del campo gravitacional; la formación del elipsoide cardioidal (contracción polar del hemisferio septentrional), el retraso de la velocidad de rotación y el consecuente freno del flujo, la conformación de esferas integradas (atmósfera, hidrósfera, biosfera, litósfera), la diferenciación en el peso neto de las aguas oceánicas y los continentes; la distribución espacial y la forma acuñada de tierra firme.

Algunos autores (Mateo, 1984: 146-189; Salinas, 1989: 157-171; Mateo, 2002: 29-38; Mateo y col., 2012: 249), coinciden en cierta manera en la conformación de arcos insulares, en procesos de desmembración de la corteza, en

la correlación entre la batimetría y la altimetría; y en la consecuente actividad tectónica y volcánica, resultado de la interacción dinámica del planeta. De manera particular, Mateo (1984; 2002), establece que el planeta se circunscribe a una serie de leyes generales que permiten la diferenciación territorial y dinámica del mismo. En la Tabla 3 se encuentra una síntesis de las características generales de lo que éste autor define como “envoltura geográfica” y las leyes naturales que la definen.

En el ámbito descrito, resulta imposible eludir la comprensión de los ritmos periódicos y/o cíclicos que intervienen en la conformación de

■ Tabla 2. Estudios de caso sobre sitios geológicos y ecosistemas turísticos.
Table 2. Case studies on geological sites and tourism ecosystems.

Regiones estudiadas	Problema de interés	Referencia
Geoparques españoles: Maestrazgo, Sobrarbe, Cabo de Gata-Níjar, Sierras Subbéticas, Costa Vasca	Se arguyen problemas de concienciación en torno al geoturismo y proponen criterios y consideraciones para aprovechar el territorio patrimonial de España, tanto para los visitantes, así como para la conservación de los espacios con interés geológico.	Carcavilla y col. (2011)
Región de Alicante, España	Desarrollo de metodología didáctica para el estudio de Ciencias de la Tierra, a través de 13 fases de trabajo para estudiantes de nivel medio.	Crespo y col. (2011)
Estudio de carácter teórico: Alto Tajo, España; Lesbos, Grecia y Vulkaneifel, Alemania	Establece la importancia de la geoconservación como una ciencia emergente en el campo de las Ciencias de la Tierra, estableciendo valores de relevancia social, promoción de la educación y desarrollo sustentable en el marco de los geoparques.	Henríquez y col. (2011)
Parque nacional de los Lagos de Plitvice, Croacia	Se plantea el desarrollo económico y ambiental, a través de actividades turísticas, empleando los atributos naturales del paisaje como factor para la generación de una industria geoturística en una región marginada.	Travis (2011)
Área Natural Protegida: Parque natural de las Lagunas de Ruidera. Castilla-La Mancha, España	Conflictos ocasionados por la disponibilidad del agua para la agricultura de riego y las actividades turísticas y ecológicas; así como entre una sobrecarga en las actividades turísticas y la conservación del espacio natural.	Vázquez (2011)
Covalagua y Las Tuerces, Palencia, España	Se propone y desarrolla una metodología que involucra variables para la recolección, clasificación y uso de información geográfica, geológica y geomorfológica; asimismo, establecen bases normativas y legales para el manejo de áreas naturales, la planificación geoturística y la geoconservación. El caso de estudio refiere a una región kárstica, en donde se aplica la metodología, destacándose las fases de inventario conformadas por la clasificación, descripción y cartografía geomorfológica.	Martín y col. (2012)
Lago Santos Morcillo, Sistema de lagos de Ruidera, España	Se realizan estudios de geofísica somera (tomografía eléctrica), deformaciones estratigráficas y de sedimentología relacionados con los depósitos basales cenozoicos del lago y el desarrollo de procesos de agrietamiento y subsidencia. El resultado de la investigación es un modelo que permita disminuir la vulnerabilidad y orientar actividades en el territorio.	Navarro y col. (2012)
Región costera de Lócria, Grecia	Se analiza la correlación entre la ocupación humana del territorio, el desarrollo de la sociedad y el paisaje natural, a través del tiempo histórico, considerando como base la caracterización geomorfológica, geológica y sismotectónica de la región griega. La base del estudio se centra en estudios de los sistemas de drenaje fluvial, depósitos de debris y sedimentología.	González y col. (2013)
Los 42 espacios que constituyen la Red de Reservas de la Biósfera estatal, España	Análisis de las actuaciones realizadas para conservación de la Geodiversidad, que incluyen realización de inventarios, divulgación, didáctica y geoturismo.	Monge y Martínez (2013)
Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, España	Se muestran 11 itinerarios de los sitios en los que se pueden apreciar paisajes formados por fenómenos geológicos, explicando las fuerzas que participaron.	Robador y col. (2013)

Continúa...

Territorio español continental	Se destaca el valor patrimonial de los depósitos de volcanoclásticos (tobas) de España, destacando criterios de importancia mineralógica, hidroquímica, geoquímica, sedimentológica y ambiental. La información de los campos tobáceos se relaciona con procesos de origen, clima, condiciones ambientales y edad.	Carcavilla y col. (2014)
Geoparque Villuercas-Ibores-Jara, Extremadura, España	Se propone utilizar 6 categorías para clasificar los 44 geositos del geoparque, en lugar de las 14 categorías actuales, para facilitar la comprensión por parte del turismo no especializado.	Pulido y col. (2014)
Herencia geomorfológica y su conservación, España	Se analiza los esfuerzos que se han realizado en España para conservar la herencia geomorfológica, preservando también las áreas naturales.	Salazar y col. (2014)
Geoparque de Sobrarbe, España	Los autores plantean nuevos criterios para la divulgación del patrimonio geológico y geomorfológico, empleando un sistema descriptivo de geositos y procesos evolutivos en la región de los Pirineos. Debido a la demanda social de información sobre el patrimonio fronterizo, las guías renovadas se presentan en castellano y francés.	Fernández y col. (2015)
Geoparques nacionales de China	Realizan una clasificación de los geoparques nacionales de China estableciendo una relación entre su distribución espacial y los aspectos estructurales geológicos de las diferentes zonas tectónicas.	Fuming y col. (2015)
Macizo Stavelot-Venn, Bélgica y Alemania	Proponen la creación de un proyecto holístico con apoyo regional, nacional e internacional, para la creación de un geoparque transfronterizo, que permite conservar y aprovechar los excelentes bienes patrimoniales naturales y geológicos del macizo: paisajes, actividades mineras, ecosistemas, aguas minerales y piedras de construcción.	Gormaere y col. (2015)
Cascadas de la Cuenca de Malawi Sabah, Malasia, Isla de Borneo	Realizan una descripción de como la geología, la geomorfología y el clima influyeron en las actuales características de altura, anchura, forma y volumen de cada una de las 28 cascadas de al menos 5 m estudiadas, para apoyar en promover su explotación turística.	Tongkul (2015)

la superficie terrestre, en la forma de manifestación de ella y en los procesos que antecedieron a los que ocurren en el tiempo presente. Entre las particularidades territoriales se encuentran: el intercambio continuo de materia (sustancias), energía e información; el dominio de las energías endógena, gravitatoria y solar; los procesos de absorción, transformación, acumulación y liberación de energía (cíclicos, complejos y atemporales); la lógica secuencial y orden en el desarrollo de procesos marcados por la homeostasis, la entropía y la contradicción “hegeliana”. Por su parte, en el renglón de los paisajes, la geodiversidad y los contrastes que este genera, resulta importante definir que el conjunto de regularidades, estructuras, leyes y funcionamiento han permanecido presentes a lo largo

de la historia del planeta de manera integrada, aunque la energía que los transforma ha actuado con diferentes ritmos e intensidades a lo largo del tiempo geológico e histórico; y todo ello en un ámbito holístico, que de forma puntual imprime en el paisaje particularidades que destacan la geodiversidad en primer término, la biodiversidad y en consecuencia las formas de uso y utilización del suelo (Figura 2).

Algunos geoparques en el mundo han surgido debido a la importancia de las zonas de extracción de minerales pétreos y metálicos. Sin embargo, la explotación minera puede causar un daño ambiental, que en algunos casos es irreparable, por lo que las acciones de restauración que se proponen suelen ser insuficientes o inadecua-

■ Tabla 3. Concentrado de conceptos que definen las leyes principales del orden y mecánica de funcionamiento del planeta Tierra (Modificado a partir de Mateo, 1984).
Table 3. Concentrate concepts that define the mains laws of order and mechanical operation of the Earth (Modified from Mateo, 1984).

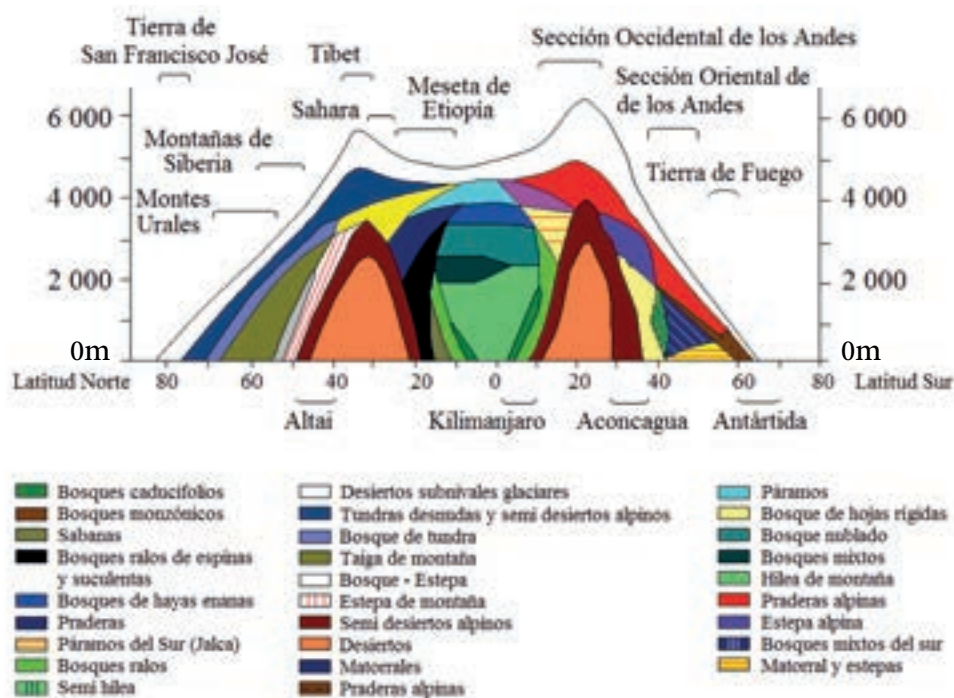
Ley	Características generales
Integridad	El intercambio permanente de sustancias y energía, entre los componentes, condicionan la integridad de la esfera de los paisajes de la Tierra.
Circulación	Garantizan los múltiples procesos y su alto efecto sumario con cantidades limitadas iniciales de sustancias y energía.
Rítmica	Para la esfera de los paisajes es característica la repetición periódica y cíclica de los diferentes procesos en el tiempo.
Asimetría polar de la Tierra	Distribución de tierras y mares, el clima, la estructura de la esfera de los paisajes, la forma de la glaciación, la historia geológica, etcétera.
Ley periódica de la zonalidad	Las zonas geográficas del mismo tipo se repiten en las diferentes fajas geográficas.
Azonalidad	En la estructura y desarrollo de la esfera de los paisajes, un rol esencial, además de los procesos zonales, lo tienen los factores azonales.
Zonalidad y azonalidad	En la estructura y desarrollo de la esfera de los paisajes, los factores zonales y azonales están contradictoriamente unidos e indivisibles.
Desarrollo	Se encuentra en el estado de evolución y desarrollo continuo.
Desarrollo heterogéneo	Como consecuencia de la diversidad espacial de la esfera de los paisajes, el desarrollo de la misma se lleva a cabo de manera irregular en los diferentes lugares.

das, lo que limitaría sus posibilidades de obtener la denominación como geoparque por parte de la UNESCO. El daño generado por la actividad minera comienza desde la etapa de preparación de un sitio para la extracción de materiales metálicos o rocosos, continúan durante las fases de operación y permanecen aun cuando la actividad ha sido abandonada. En este último punto, las inversiones y propuestas no alcanzan (o existen) para contrarrestar los efectos negativos y restaurar condiciones de orden social, económico y ambiental. El abandono de una zona minera por lo general implica la gestación de procesos de movilidad de población, pugnas por la ocupación y manejo del territorio, abatimiento de recursos económicos (Uribe, 1992: 119-135; Uribe, 2009; Salas, 2010: 564), así como deterioro de la homeostasis ambiental y pérdida general de las condiciones de hemerobia.

Un caso particular de interés en México, que podría formar el eje articulador de una denominación de geoparque, es una mina aurífera

que dejó de ser productiva a principios del siglo pasado (siglo XX), conocida con el nombre de Dos Estrellas, y que pertenece a un sistema de explotación de materiales metálicos en el distrito minero de “Tlalpujahua-El Oro” (DMTO), localizado en Michoacán y el Estado de México (Figura 3). En este sitio, grupos de población civil, artistas, voluntarios e investigadores han reunido esfuerzos por mantener vivo un museo de sitio y de manera simultánea sostener actividades, como foros de discusión, orientadas a la conservación y mantenimiento de un jardín botánico. Estos eventos tienen el fin de preservar el patrimonio generado en torno a la antigua mina, así como disminuir y/o eliminar vicisitudes de orden social, económico y político presentes, para lograr el desarrollo local.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial que tiene el patrimonio del distrito minero Tlalpujahua- El Oro, para conformar un geoparque reconocido por la UNESCO, teniendo como su principal eje articulador la mina Dos Estrellas.



■ Figura 2. Distribución de ecosistemas y sistemas morfogénéticos con base en principios planetarios de zonalidad geográfica (Modificado a partir de Salinas, 1989).

Figure 2. Distribution of ecosystems and morphogenetic systems based on planetary principles of geographical zonality (Modified from Salinas, 1989).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio de estudio

El presente estudio abarcó el análisis de una superficie de 410 km² del distrito minero Tlapujahua - El Oro, ubicado en el Estado de México y Michoacán. La mina Dos Estrellas representa un 1 % del total de la superficie estudiada y es considerada un importante factor para la denominación como geoparque, al ser parte del patrimonio Geológico nacional (Geoheritage), por la relevancia histórica en el desarrollo de esta actividad económica.

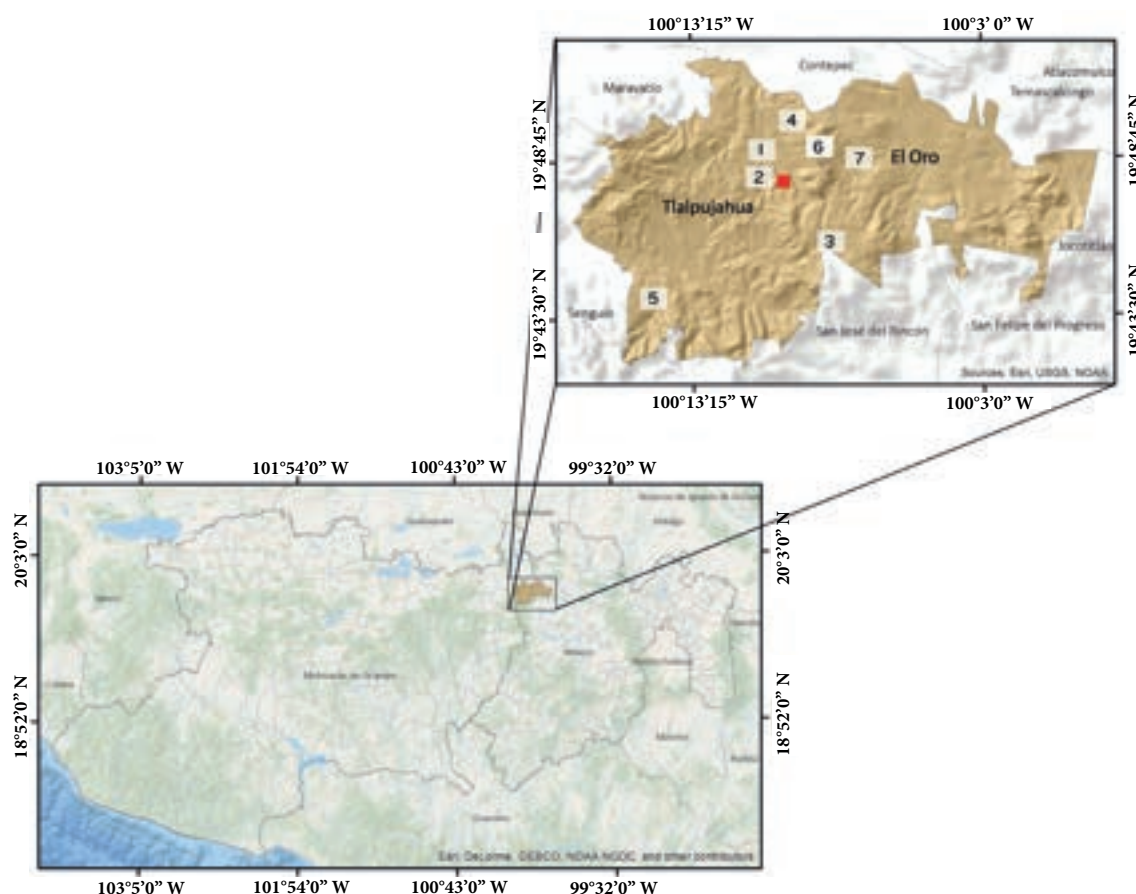
Fase 1. Evaluación del patrimonio (geositios y geomorfositos)

Se realizó un inventario guiado por el concepto de lo que es representativo y por el valor que posee, de todo aquello que se considera importante conservar. Los principales sitios con interés geológico y geomorfológico considerados en el estudio, son: el sistema de estrías de la Falla Pastores, el Cañón del Mogote, el lecho del río Tlapujahua, el Cerro Somera (Conjunto de lavas an-

desíticas y El balcón), la Cascada América, el Pico del Águila y la mina Dos Estrellas (Figura 3). La evaluación se realizó utilizando una matriz de comparación desarrollada para este estudio, basada en los criterios de Brilha (2013), que permite analizar los tipos de patrimonio, su clasificación geológica o geomorfológica y sus principales características (Tabla 4). Se utilizó una escala del 1 al 10 para evaluar la importancia de los atributos distintivos de cada sitio de interés.

Fase 2. Evaluación del patrimonio biótico

El patrimonio de carácter biológico se clasificó en dos ámbitos básicos: el natural y el inducido. El valor de éste se ha clasificado de acuerdo con las especies presentes, las consideraciones biológicas de las mismas, el endemismo y el estado general que guardan con respecto a precisiones de dosel, sotobosque, salud y parámetros específicos de lo que se encuentra *in situ*; como es el caso de la relación geográfica determinada por variables como la altitud, la latitud, el clima y el relieve.



■ Figura 3. Localización del área de estudio. El cuadro señala la localización de la Mina Dos Estrellas; los números indican: 1. Cabecera municipal de Tlalpujahua, Michoacán (Casa Museo Rayón, Santuarios de Nuestra Señora del Carmen, Iglesia de San Francisco, Las Lamas, Cascada América); 2. Museo Tecnológico Minero Siglo XIX; 3. Presa Brookman; 4. Parque Nacional Rayón (La Cuesta de Campo del Gallo); 5. Santuario de la Mariposa Monarca; 6. Espejo de falla y sistemas de estrías Pastores; 7. Cabecera municipal de El Oro, Estado de México.

Figure 3. Location of the study site. The red square indicates the Two-Star Mine location; the numbers indicate: 1. Municipality of Tlalpujahua, Michoacan (Rayon House's Museum, Our Lady of Carmen Sanctuary, San Francisco's Church, Las Lamas, America's falls); 2. Nineteenth Century Mining Technological Museum; 3. Brookman dam; 4. Rayon National Park (La Cuesta de Campo del Gallo); 5. Monarch Butterfly Sanctuary; 6. Mirror fault line and Shepherd's streaking systems; 7. El Oro Municipality, Mexico State.

Fase 3. Evaluación del patrimonio histórico, antrópico y cultural

La evaluación de los contextos culturales e históricos resulta compleja desde cualquier perspectiva teórica e incluso ideológica, lo cual resulta complicado para asignarle un orden paramétrico. Es por ello que en esta fase de estudio se respondió a preguntas básicas como: ¿con qué se cuenta?, ¿desde cuándo?, ¿en dónde? y ¿qué valor tiene desde el constructo social local y regional?, entre otras; obteniéndose informa-

ción de referencias bibliográficas (Uribe, 1992: 119-135; Corona y Uribe, 2009: 101; Salas, 2010: 564), de los listados de infraestructura y de servicios, así como del juicio de expertos locales como la familias Bernal (poseedores del comodato de la mina Dos Estrellas); y finalmente, de la información publicada en las páginas electrónicas de Tlalpujahua (2016) y El Oro (2016).

Se evaluaron cuatro ejes básicos desde la perspectiva cultural: el contexto social, enmarca-

■ Tabla 4. Referencia para evaluación de geositos y geomorfositos. Matriz de análisis geológico.
Table 4. Reference for evaluation of geosites and geomorphosites. Geological analysis matrix.

Tipo de patrimonio	Clasificación	Principales características
Geológico	Paleontológico	Grado de conservación, rareza, relación con el contexto, colecciones museográficas.
	Mineralógico	Características de conservación <i>versus</i> explotación, abundancia natural, extracción, forma externa de mineral, variedades minerales, color, tamaño del cristal, calidad del mineral, localización, asociación con otros minerales, rareza.
	Petrológico	Geometría de la roca, marcadores de eras geológicas, marcadores de eventos geológicos.
	Origen	Procesos endógenos involucrados, procesos endógenos y exógenos involucrados, complejidad de procesos de formación.
Geomorfológico	Geoforma	Geometría, tamaño, rareza, frecuencia, relación con zonalidad, relación con azonalidad, relación con clima, relación con procesos meteorológicos.
	Evolución y dinámica de geoformas	Estadios básicos o generales, fases de desarrollo, procesos involucrados en las fases de desarrollo, procesos relacionados con evolución geológica, procesos relacionados con evolución climática, procesos relacionados con evolución y dinámica meteorológica, tiempo de formación.
	Distribución espacial	Razones básicas de distribución, patrones geológicos y estructurales, relación con sistemas morfogenéticos y morfoclimáticos.
Mixto	Sustantivos	Científico, didáctico, arqueológico.

do en las formas de comunicación, organización, ideología; el uso y manejo del territorio, caracterizado por las formas de transmisión de las jefaturas familiares y sociales, las costumbres y prácticas desarrolladas en el territorio; los elementos materiales empleados en la manufactura de productos; y el contexto artístico, conformado por todas las manifestaciones de expresión humana. En la Tabla 5 se muestra el concentrado de variables de esta fase de trabajo.

Fase 4. Evaluación de la capacidad de gestión

La conformación y éxito de un geoparque depende en gran medida de los procesos inherentes de gestión, los cuales involucran va-

riables de índole diversa. En este estudio se analizaron los diferentes aspectos que convergen en el proceso de organización y solución de problemas específicos, tales como la administración, organización, planeación, diseño y desarrollo de obras de infraestructura. Así como, el control de problemas y situaciones asociadas con el uso y manejo del territorio: políticas de conservación, inseguridad, oferta de servicios, manejo de áreas naturales protegidas o territorios resguardados por alguna razón de carácter ambiental, condiciones de deterioro (erosión, incendios, contaminación), manejo de recursos (forestal, edáfico, fluvial), educación y formación de cuadros científicos, entre otros.

Fase 5. Aptitud del territorio

Se analizó la capacidad de recepción de actividades y de gestión territorial, basada en los criterios de ordenamiento territorial y de las políticas nacionales en torno a la generación de unidades de gestión ambiental. Los criterios empleados se fundamentaron en la diagnosis, prognosis y sindéresis; así como la condición legal y orientación que prevalece en el territorio.

Fase 6 y 7. Fundamentación de la propuesta para la creación de un geoparque

La fundamentación y entrega de propuesta formal para la conformación del geoparque se basó en los requerimientos y orden establecidos en la Red Natura 2000 (UNESCO; 2008: 120-134). La propuesta define los tipos de geositos, según la superficie ocupada, la presencia de elementos de carácter geológico y geomorfológico, el dominio (territorio-espacio) y aspectos relacionados con la tipología, la fragilidad y las políticas establecidas para el manejo y evaluación del geoparque propuesto.

RESULTADOS

Los resultados de la evaluación de los atributos de la región sugieren que es factible obtener la declaración de geoparque en la zona estudiada, si se logra la participación directa y entusiasta, en forma coordinada, de los diferentes órdenes de gobierno, la sociedad y los diferentes actores que se involucran en

el territorio. Las fortalezas y debilidades de la mina Dos Estrellas (Figura 4), muestran atributos importantes relacionados con el patrimonio natural del sitio en cuestión, así como los valores intrínsecos y de uso; es por ello, que a continuación se describen los principales resultados.

Patrimonio geológico y geomorfológico

La paragénesis de los minerales de la mina Dos Estrellas ha formado un modelo de yacimiento mineral, que permitió el desarrollo y auge de la minería en México, a tal grado de posicionarse como la primera en importancia en el territorio nacional, compartiendo créditos con otros distritos mineros, como el de Guanajuato y el de Real del Monte en Pachuca; y poseer una de las menas más puras (Chávez y col., 2010: 21-34; Cisneros y col., 2012: 198-203).

La mena de oro de la mina Dos Estrellas fue formada a través de procesos de metalogénesis local, que exhibe el complejo desarrollo regional de un ambiente tectónico y estructural, que se liga a los campos auríferos de diferentes estados y regiones, como Sinaloa, Durango, Guerrero, Zacatecas, Angangueo, Michoacán y Tejupilco en el Estado de México; y de manera particular, con el distrito minero de Guanajuato. Asimismo, delimita la estructura del arco insular que explica la formación episódica del Sistema Volcánico Transversal y del Terreno Guerrero; así como de los procesos

■ Tabla 5. Referencia para evaluación del patrimonio cultural.
Table 5. Reference for cultural heritage evaluation.

Tipo de patrimonio (variable dependiente)	Variable a considerar (variable independiente)
Contexto social	Códigos de lenguaje y comunicación, cosmovisión, desarrollo económico, formas de organización, historia, instituciones, transmisión del conocimiento y la cultura.
Uso y manejo del territorio	Herencia de la tierra, prácticas agrícolas e instrumentos, tenencia de la tierra, usos de suelo.
Elementos materiales	Herramientas y utensilios, fuentes de energía, materias primas empleadas.
Contexto artístico	Artesanía, escultura, música, pintura, otros.

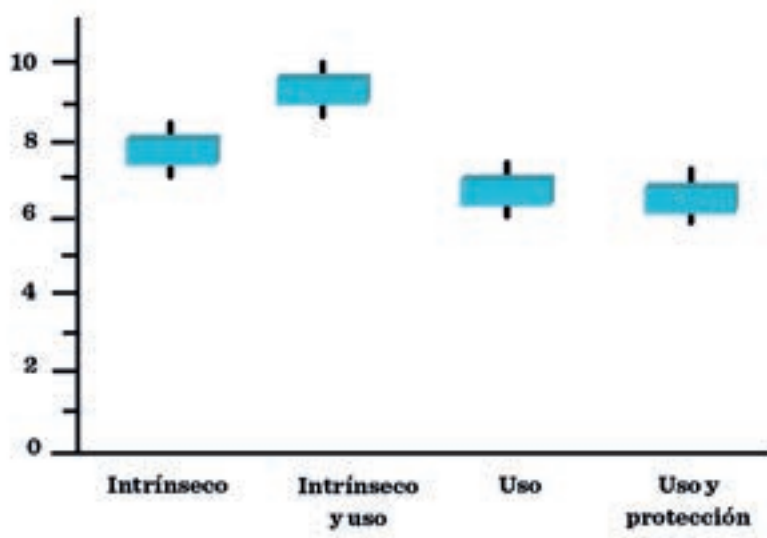
de metamorfismo del basamento y la actividad hidrotermal relacionada con las etapas eruptivas de calderas de explosión relacionadas con campos ignimbríticos (Camprubí y Albison, 2006: 27-81; Escobar y col., 2015: 36-45). De acuerdo con estos autores, la rareza mineral de la zona tiende a ser “anómala” y es reflejo de procesos disyuntivos, distensivos, eruptivos e hidrotermales, caracterizados por fases de transporte de fluidos y materiales, transporte de soluciones acuosas, deposición a través de precipitación química y concentración de metales que datan de un proceso que duró alrededor de 27 millones de años. De acuerdo con ello, la paragénesis del mineral se relaciona con la etapa de Oro-Plata; y la Tardía, se relaciona con minerales como la boulangerita, bornita, argentita, aguilarita, crookesita y fischesserita, entre otros. Por otra parte, el material litológico que sepulta los yacimientos y estratos rocosos denominado ignimbrita, posee un origen volcánico, relacionado con matrices microlíticas fluidales, vítreas y pumíticas, que le otorgan a la roca características de dureza y resistencia, aptas para la construcción. En los espejos de falla se aprecia la presencia de estrías, que evidencian el movimiento cortical, con magnitudes y direcciones de desplazamiento di-

ferentes; exhibiendo metamorfismo generado por la fricción de los minerales (Pantoja, 1994: 168-181; Chávez y col., 2010: 21-34; Cisneros y col., 2012: 198-203).

En conjunto, se observa que las áreas de oportunidad del sitio (mina Dos Estrellas), se encuentran en la explotación turístico-científica de la historia geológica y geomorfológica de la región, a través del establecimiento de georutas (por definir). Ello puede lograrse mediante la organización de un centro de visitantes que permita coordinar el rescate del patrimonio geológico-minero y el desarrollo, organización y manejo de recursos didácticos, museográficos y de difusión. Este tipo de actividades usualmente requieren de la conformación de asociaciones pro-geoparque, así como de la organización de actividades lúdicas y firma de convenios, entre otras.

Aspectos culturales y educativos

En la región se han asentado y desarrollado grupos pertenecientes a las culturas azteca, tarasca y mazahuas, de los cuales, estos últimos ocupan la región hasta el tiempo presente (Uribe, 1992; 2009). En el ámbito histórico, destacan: el hecho de que la localidad fue cuna de los hermanos independentistas Ló-



■ **Figura 4. Valores de evaluación de la mina Dos Estrellas y el municipio de Tlalpujahua, Michoacán.**
Figure 4. Assessment values of Dos Estrellas mine and Tlalpujahua, Michoacán municipality.

pez-Rayón, y la región cuenta con un museo al respecto; el proceso de edificación de orden religioso establecido desde el año 1600, con iglesias y conventos que pueden ser visitados; la construcción y uso actual de la Presa Brockman, la gestación y desarrollo de la mina Dos estrellas, y el rompimiento de la presa de jales en 1937, tragedia conocida como la “inundación de Lama” (Núñez, 2015: 95-119), y que en la zona se tienen aún vestigios de ese evento histórico, como la cúpula de la iglesia que sobresale en el sitio donde quedó enterrada.

Con referencia a las actividades culturales y artísticas, la mayor manifestación religiosa encontrada es la celebración del “Misterio pasual de Cristo”; en el rubro de artesanía, destaca la orfebrería en plata, la cerámica y el arte pictórico. En cuanto a música y festivales, se encuentran el festival de jazz, el Carnaval Mazahua y la Feria de las esferas, que reúne un promedio de 300 000 personas al año (Tlalpujahua, 2016).

Aspectos económicos, servicios y hemerobia

La minería ha sido una actividad económica importante en la región desde los inicios de la colonia, pero se considera que el auge minero se consolida aproximadamente en el año 1733, después de 200 años de extracción, detonada por la influencia minera de origen inglés, concesionada por el entonces gobierno reformista (Cánovas, 1960: 5-97; Uzeta, 1964: 1-26). En el tiempo presente, la región se distingue por la elaboración de esferas, artículos de decoración, útiles escolares y muebles.

Desde la perspectiva ambiental-hemeróbica y de geoconservación, las características de diagnóstico muestran una alta capacidad de sitio para albergar actividades de geoturismo, tales como el senderismo, la exploración de sitios de interés industrial y geológico-geomorfológico, entre otras, aunque se requiere de adecuaciones importantes en cuanto a la calidad de los servicios prestados; asimismo, se aprecia que la prognosis representa condiciones de vulnerabilidad baja, y alta capacidad de co-

rrección de impactos, si se considera una profunda y profesional organización territorial y de las actividades relacionadas con la recreación y la gestión del mismo, por parte de los involucrados en la toma de decisiones y manejo del espacio geográfico.

Protección y aspectos legales

En el DMTO se ha establecido un Comité con el propósito de obtener la denominación de geoparque, y a través de sus trabajos iniciales, se ha observado que la mina Dos Estrellas, y en general, los dos municipios de Tlalpujahua-El Oro, carecen de aspectos relacionados con la protección del patrimonio, en cualquier tipo de versión; es por ello que la vulnerabilidad del patrimonio tiende a ser alta, asimismo la desorganización social, de gobierno y de las instancias interesadas en la promulgación de un decreto de geoparque. Por otra parte, la ocupación del territorio y los aspectos de orden legal, respecto a la mina, resultan ser un obstáculo más para lograr la gestión asertiva, debido a que sobre el territorio en el cual se asienta, existen discrepancias sobre la tenencia de la tierra, el uso del suelo y derecho de aprovechamiento de los recursos; todo ello generado desde diversas perspectivas que involucran a diferentes sectores de la sociedad de dos municipios pertenecientes a entidades estatales diferentes; es decir, se genera un conflicto de intereses complejo.

Accesibilidad

En el DMTO existe una viabilidad adecuada para visitar a los dos pueblos (Tlalpujahua y El Oro), ambos con denominación de Pueblos mágicos, lo que ayudaría en el desarrollo de la infraestructura del geoparque. El acceso a la mina se logra por dos vías principales: a través de una carretera federal Atlacomulco-El Oro-Tlalpujahua y la autopista Atlacomulco-Morelia-Guadalajara, las cuales, se encuentran en general en buenas condiciones para el tránsito. De manera local, para ingresar a la mina, hay un camino de terracería que resulta angosto en algunos sectores, pero de calidad relativamente buena en periodo de estiaje.

Fundamentación de la propuesta del geoparque

Las características físicoquímicas de los minerales explotados en la mina, relacionados de manera regional con las morfoestructuras, como los arcos volcánicos, la formación de menas a lo largo de dichos sistemas y los productos ignimbríticos, por las calderas volcánicas en la región, otorgan al sitio condiciones particulares y excepcionales, que cumplen con los requisitos establecidos para considerar un geomorfosito y el consecuente geoparque. Resulta importante señalar que, si bien la propuesta surge de la mina Dos Estrellas, el territorio posee otros sitios de interés geológico y geomorfológico, como se ha referido; y cumple de manera cabal con aspectos de orden social, cultural y económico, que le otorgan particular interés como patrimonio (Figura 5). Se destaca en la mina, la presencia del primer museo tecnológico de sitio, el cual, por sí mismo, ya es considerado como patrimonio industrial.

En este orden de ideas, cabe resaltar la importancia de los valores intrínsecos (Tabla 6), como es la representatividad de la mina Dos Estrellas, al ser la única en el país –hasta este momento– que posee una vasta historia que encierra condiciones de opulencia, desarrollo económico, desarrollo tecnológico, marginación y pobreza, cultura y educación; todo ello entrelazado en un territorio que posee una pequeña extensión. El carácter local del patrimonio se sustenta en primera instancia en la producción aurífera de alta calidad, y de manera particular, en la arquitectura del sitio, las instalaciones y el proceso de conservación de las mismas. Se añade a este principio, el grado de conocimiento local y regional en temas geológicos, ambientales, de erosión, arte y religión; asimismo, resalta la capacidad de observación y la naturalidad del paisaje del entorno, relacionado con condiciones de hemerobia media.

En el ámbito intrínseco y uso (Tabla 6), la mina oferta cursos, conferencias y exposiciones artísticas y tecnológicas, que fomentan de manera local y regional el desarrollo de conteni-

dos y usos didácticos; de hecho, en diferentes recorridos por la zona, se ha podido observar la continua visita de grupos escolares y de turistas, que no tienen que pagar por acceder a las instalaciones y exposiciones.

Por último, y para fortalecer la propuesta, el territorio municipal ofrece oportunidades de desarrollo, que, desde el punto de vista estético y de servicios, podría apuntalar el andamiaje de la propuesta, considerando las mejoras y la inversión necesaria.

DISCUSIÓN

En el año 2000, fue creado en el Departamento de Ciencias de la Tierra, el programa de Geoparques de la UNESCO; las nacientes ideas de cuatro países europeos, que forjaron los primeros espacios dedicados a la geoconservación, han proliferado de tal manera, que hasta el penúltimo mes del año 2015 se habían reconocido de manera formal 130 geoparques, y más de 350 esperan el dictamen correspondiente para elevar la condición y recibir el reconocimiento internacional (Carcavilla y col., 2014). Sin duda alguna, los beneficios obtenidos en 20 años de investigación y gestión territorial han devenido en el desarrollo de políticas sociales de conservación sustentable del territorio en diferentes países del mundo.

Existen algunas escuelas emergentes, en torno a los geoparques, que han propuesto metodologías para la evaluación de las características y el potencial del territorio para declararlo patrimonio, entre ellas se destacan la Portuguesa, liderada por Brilha (2002; 2005; 2013); la Chilena, dirigida por Martínez (2007); la Española, representada por Carcavilla y García (2010), Carcavilla y col. (2011; 2012) y García y col. (2013); la China, por Fuming y col. (2015); y la Mexicana, desarrollada e implementada en el International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC) de Holanda y el pretérito Instituto Nacional de Ecología (ahora INECC); y lo desarrollado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México,



■ **Figura 5. Representación de la Media del conjunto de variables calificadas en la mina Dos Estrellas.**
 Figure 5. Representation of the Media of all qualified variables in the Dos Estrellas Mine.

entre otras. En diferente medida, el común denominador de las investigaciones realizadas refiere al relieve como factor patrimonial, sin embargo, la mayor parte de ellas carece de criterios específicos para la valoración geomorfológica, y adolecen de una fundamentación teórica del lugar que ocupan los geoparques en las ciencias; es por ello que esta investigación desarrolló la premisa de ubicación científica de las propuestas de gestión y desarrollo del territorio.

En México, el interés por el patrimonio ha crecido de tal manera, que durante el verano de 2017 se espera la declaración patrimonial de la UNESCO de los dos primeros geoparques nacionales: el “Museo de la Erosión” en la Mixteca Alta (Yanhuitlán, Oaxaca) y las secuencias de los basaltos columnares de San Miguel Regla y depósitos de obsidiana de la Sierra de las Navajas en Huasca Hidalgo. Se destacan avances significativos en la conformación de geoparques en la morfología kárstica del Sótano de las Golondrinas en San Luis Potosí; los bloques de montaña adyacentes al Golfo de California y el Océano Pacífico en el sur de la Península de Baja California Sur. Se suman a la lista las dunas parabólicas y la denudada morfología volcánica en la Reserva de la Biosfera de El Pinacate y Gran desierto de Altar en Sonora; la geomorfología y evolución tectovolcánica de la Caldera

de la Primavera en Jalisco; el Cañón del Sumidero en Chiapas y el DMTO en Michoacán y el Estado de México, basado en una antigua mina que posee el primer museo tecnológico de su especie. Para este caso, se destaca que la metodología propuesta y los resultados encontrados, se conciben con base en los antecedentes geológicos y geomorfológicos referidos, y con la orientación holística que integra aspectos de carácter social, cultural y económico. En este último ámbito, la originalidad del mismo, se encuentra en la intencionalidad de ofrecer a los decisores del territorio una visión amplia de los recursos que poseen en las municipalidades estudiadas (Tabla 6).

En la Tabla 7 se observan las condiciones generales (atributos), que fundamentan la propuesta de creación del geoparque. De acuerdo con estos resultados, se considera que los valores más importantes que tiene la zona de estudio se encuentran caracterizados por:

- Abundancia regional: reconocida en el sistema minero regional, con la infraestructura y arquitectura específica de la actividad y para la satisfacción de necesidades de operación.
- Grado de conocimiento científico: la región se emplaza en sistemas disyuntivos escalona-

■ Tabla 6. Valoración preliminar de la mina Dos Estrellas y el entorno municipal. Fuente: Modificado en base a García y Carcavilla (2013).

Table 6. Preliminary assessment of the Dos Estrellas mine and the local environment. Source: Modified base don García y Carcavilla (2013).

Valor		Parámetros de valoración	Descripción teórica de la variable	Características de sitio
Clase y media ponderada	Asignado			
Intrínseco (8.04)	8	Representatividad	Cualidad del lugar para ilustrar de forma adecuada las características de dominio.	La mina representa un lugar único, debido al proceso histórico de explotación y la transición hacia el desarrollo de la cultura.
	8	Carácter local tipo o de referencia	Cualidad del lugar como referencia estratigráfica, paleontológica, mineralógica.	Mineral de oro.
	8	Grado de conocimiento científico del lugar	Relevancia geológica e interés científico que lo hacen objeto de publicaciones.	Existen tesis de doctorado (UNAM) y artículos de la región en revistas de investigación y divulgación científica (Redalyc).
	9	Estado de conservación	Grado de conservación física del rasgo.	Se observan rasgos de degradación, sin embargo, la conservación del sitio en general es buena.
	8	Condiciones de observación	Facilidad que ofrece el entorno para observar el rasgo.	El sitio se observa desde la parte alta de la ladera, y el paisaje boscoso a la entrada del sitio proporciona valor visual.
	8	Rareza	Escasez de rasgos similares al descrito.	Si bien, el tipo de construcción de la mina es común durante el siglo XIX, es única en la región con la morfología y la distribución espacial de los espacios que posee.
	5	Diversidad geológica	Existencia de varios tipos de interés en el mismo lugar.	El oro y algunos depósitos de pizarra se localizan <i>in situ</i> ; además de depósitos de jales relacionados con un evento catastrófico.
	9	Espectacularidad o belleza	Calidad visual del rasgo.	La arquitectura, los murales que tiene y el tiro de la mina proporcionan valor estético.

Continúa...

Intrínseco y uso (9.6)	10	Contenido divulgativo/uso divulgativo	El rasgo se presta a la divulgación y/o se emplea para tal fin.	Se exhiben obras de arte (pintura), algunos mapas antiguos y materiales (que requieren de restauración).
	10	Contenido didáctico/uso didáctico	El rasgo se presta a la docencia y/o se utiliza para tal fin.	Se han encontrado grupos escolares de visita; el objetivo actual de la mina es la divulgación de la cultura (gratis).
	9	Posibles actividades a realizar	El lugar se presta para actividades recreativas, de ocio, o se utiliza para tal fin.	El lugar posee espacios para el esparcimiento, la lectura y para el desarrollo de talleres artísticos y hasta para eventos sociales.
De uso (7.3)	7	Infraestructura y logística	Existencia de alojamiento y restaurantes.	Existen diferentes sitios para alojamiento y restaurantes; sin embargo, la cantidad y calidad de éstos debe ser superada de manera pronta.
	5	Entorno socioeconómico	Condiciones socioeconómicas de la comarca que pueden favorecer la utilización del lugar como factor de desarrollo local.	Las condiciones en general son bajas a pesar de la declaratoria de “Pueblo mágico”, sin embargo, existe un potencial tácito, a pesar de la marcada pobreza y marginación.
	9	Asociación con otros elementos del patrimonio natural, histórico o etnológico (tradiciones)	Informe sobre otros elementos de interés no geológico que puede atraer a un mayor número de visitantes.	El sitio tiene valor histórico, cultural, artístico, que se explota y que puede proveer de un aumento significativo de turistas en los ámbitos nacional e internacional.
De uso y protección (7.0)	6	Densidad de población	Potencial de visitas <i>versus</i> facilidad para el vandalismo.	La densidad de población es de 176 h/km ² ; sin embargo, las condiciones de vandalismo aumentan de forma progresiva (existen referencias, oficiales pero no datos que lo comprueben).
	6	Accesibilidad	Facilidad para el acceso <i>versus</i> facilidad para el vandalismo.	Existe facilidad de acceso a través de la carretera federal o a través de la autopista Atlacomulco-Morelia.
	6	Fragilidad	Vulnerabilidad intrínseca del lugar (dimensión, litología, naturaleza, yacimientos paleontológicos, mineralógicos).	Si bien, la vulnerabilidad por sí sola no tiende a ser muy alta, la falta de protección del patrimonio cultural eleva el rango en la naturaleza y el arte.
	9	Cercanía a zonas recreativas	Presencia de zonas recreativas próximas o turísticas <i>versus</i> facilidad para el vandalismo.	Existen áreas de esparcimiento relativamente cercanas, como la presa Brockman en el municipio de El Oro, y el centro de la ciudad representa una oportunidad de turismo cultural y recreativo.

■ Tabla 7. Atributos calificados en el sitio. Realizada con los criterios establecidos por Brilha (2005) y Carcavilla y col. (2012).
Table 7. Assessed attributes at the site. Carried out with the criteria established by Brilha (2005) and Carcavilla and col. (2012).

Ámbito	Valor	Atributo
Patrimonio geológico y geomorfológico	8	Abundancia regional.
	9	Grado de conocimiento científico.
	8	Elementos de interés geológico.
	8	Elementos de interés geomorfológico.
	4	Edad del o los rasgos geológicos.
	9	Representatividad: útil como modelo para representar parcialmente un rasgo o proceso.
	9	Representatividad: útil como modelo para representar de forma global un rasgo o proceso.
	9	Representatividad: mejor modelo para representar de forma global un rasgo o proceso.
	10	Carácter de localidad tipo: referencia regional, utilizada de forma internacional o local.
	6	Grado de conocimiento científico del lugar (trabajos publicados y/o tesis; revistas nacionales o internacionales).
	8	Asociación con un elemento del patrimonio natural o cultural en un radio de 5 km.
	7	Asociación con varios elementos del patrimonio natural o cultural en un radio de 5 km.
	Na	Compatibilidad para recolección de fósiles y conservación.
	Na	Yacimientos paleontológicos.
	8	Geología regional.
	7	Litología predominante.
	Na	Fósiles (edad y especies).
	8	Escarpe de falla, estrías en escarpe de falla.
	5	Geometría de vertientes.
	4	Procesos de remoción en masa.
Aspectos culturales y educativos	6	Barrancos, sufusión, cárcavas, valles fluviales, cascadas (rupturas de pendiente), hundimientos, taludes, terrazas.
	8	Estética del paisaje.
	9	Asociación con elementos culturales.
	8	Colecciones museográficas, centros de investigación.
	10	Usos, costumbres y tradiciones (alfarería, cerámica, cales, yesos, tintes, pinturas, producción de algún mineral, arquitectura popular, fiestas, tradiciones, leyendas, monumentos históricos, etcétera).
	6	Índices <i>per cápita</i> , educación y ocupación similares a la media regional.
	6	Contenidos educativos: curriculares universitarios o de otros niveles.
Aspectos económicos, servicios y hemerobia	8	Interés no geológico (minero-industrial, natural, arquitectónico, arqueológico, etnográfico, histórico, cultural, paisajístico).
	9	Potencial de uso didáctico.
	9	Potencial para la investigación.
	5	Nivel socioeconómico general.
	2	Interés por extracción minera (tipo de material, tipo de extracción, importancia regional).
	5	Índices <i>per cápita</i> , educación y ocupación similares a la media regional, pero inferiores a la media nacional.
	4	Servicios adicionales (hospitales, taxis, oficinas de turismo, agua potable, servicios en general).
	7	Datos de visitantes al año.
	6	Capacidad de alojamiento y distancia al sitio.
	6	Capacidad restaurantera y distancia al sitio.
	8	Potencial para el desarrollo de actividades turísticas, recreativas.
	8	Potencial de uso turístico y/o recreativo, senderismo.
	5	Peligros naturales y amenazas probables.
	5	Fragilidad ante la intervención humana.

Continúa...

Protección y aspectos legales	2	Existen inventarios (para la protección del sitio).
	2	Instrumentos jurídicos de protección.
	Na	Régimen de protección (Parque Nacional, Área Natural Protegida, Reserva de la Biosfera.
	7	Protección física directa (acceso por sendas, densidad de vegetación).
	8	Organización social.
Accesibilidad	10	Accesibilidad a lo largo del año.
	10	Grado de facilidad para acceder a pie.
	9	Tipo de acceso (Camino de terracería).
	10	Distancia del lugar con referencia a carretera asfaltada (2 km).

dos en un régimen tectónico regional de fosas “en-echellon”, en donde se observan espejos de falla normales estriados.

- Capacidad de referencia como lugar: el sitio es conocido en el ámbito nacional, posee buena accesibilidad a través de una carretera federal y la autopista que conecta a las ciudades de Morelia y Atlacomulco, opera todo el año y se encuentra próxima al poblado de Tlalpujahua, Michoacán.

- Elementos de interés geomorfológico: se destacan los espejos de falla, así como afloramientos de materiales metamorfizados por el desplazamiento disyuntivo. Se encuentran evidencias de procesos asociados con riesgos de orden antrópico.

- Elementos de interés geológico: se advierten afloramientos de pizarras; es posible observar las características litológicas en el acceso principal a la mina.

- Asociación con elementos culturales: el museo tecnológico es único en su especie; además se imparten cursos de pintura. Dentro del museo existe una galería y en la pared principal de acceso a la mina se encuentra un mural. En este sitio se puede leer “La cultura como el sol, son gratis”; ello implica la postura de los administradores de la misma, de que la población y público en general se interesen y aprendan sin tener que pagar.

CONCLUSIONES

El corredor que comprende a la ex-zona minera de Tlalpujahua-El Oro posee propiedades de

carácter geomorfológico y geológico de relevancia histórica, como es el caso de la mina Dos Estrellas. Se reconoce que el valor histórico de la región, la riqueza cultural y la capacidad que el sitio tiene para el desarrollo de actividades turísticas, recreativas y deportivas, son atributos que consiguen fundamentar la propuesta formal para la creación de un geoparque en la mina; no obstante a ello, esta se deberá fortalecer en las ámbitos de la administración territorial y de la gestión, ello debido, a que ambas variables pueden ser transformadas de amenazas, en áreas de oportunidad, que impulsen en la región el crecimiento social y económico, a partir de los recursos geomorfológicos y geológicos, en donde la geoconservación se sostiene como eje integrador y rector de la propuesta. El siguiente paso es el consentimiento social y administrativo para la formalización de viabilidad, en su caso, la licitación correspondiente, que permita en prospectiva, la conformación de un área con potencial sustentable para el desarrollo ambiental, social y económico, viable y tangible. Lograr la denominación de geoparque también impulsará el crecimiento de las poblaciones aledañas, las cuales, ya cuentan con la denominación de “Pueblos mágicos”, incrementando la actividad turística de toda la región. En el aspecto científico-académico, se incrementará la calidad de las actividades de carácter educativo que actualmente se desarrollan en la mina, y que incluyen investigación y difusión de temas relacionados con geología, geomorfología, mineralogía y otros afines a ciencias de la tierra, relacionados con la geoconservación. Esto permitirá a la región desplegar áreas de interés y crecimiento, que hasta

ahora han sido inexploradas, tales como, la definición de los criterios locales y metodológicos para valorar los geositos, los geomorfositos y el valor patrimonial de los mismos. También propiciará elaborar catálogos, inventarios y rutas para la exploración y despliegue del co-

nocimiento científico y educativo general, fortaleciendo los procesos de gestión, ligados a políticas de conservación y administración territorial, en un marco legal que favorezca a toda la población.

REFERENCIAS

- Bratton, A., Smith, B., McKinley, J., and Lilley, K. (2013). Expanding the Geoconservation Toolbox: Integrated hazard management at dynamic geoheritage sites. *Springer*. 5(3): 173-183.
- Brilha, J. (2002). Geoconservación and protected areas. *Environmental conservation*. 29(3): 273-279.
- Brilha, J. (2005). *Patrimonio geológico e geoconservacao*. A conservacao de natureza na sua vertente geológica. Lisboa: Palimago. 183 Pp.
- Brilha, J. (2013). Nuevas perspectivas del patrimonio geológico y los geoparques. *Conferencia de clausura de la X Reunión Nacional de la Comisión del Patrimonio Geológico, Sociedad Geológica de España, Segovia*. 10(1): 1-9.
- Bruschi, M. (2007). *Desarrollo de una metodología para la caracterización, evaluación y gestión de los recursos de la geodiversidad*. León: Universidad de Cantabria. 355 Pp.
- Bruschi, M. and Cendrero, A. (2007). Geosite evaluation; can we measure intangible values? II Quaternario, Italian. *Journal of Quaternary Sciences*. 18(1): 293-306.
- Bruschi, M., Cendrero, A., and Cuesta, J. (2011): A statistical approach to the validation and optimisation of geoheritage assessment procedures. *Springer*. 3(33): 131-149.
- Burek, C. (2012). The role of LGAPs (Local Geodiversity Action Plans) and Welsh RIGS as local drivers for geoconservation within geotourism in Wales. *Springer*. 4(1-2): 45-63.
- Camprubí, A. y Albison, T. (2006). Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 63(1): 27-81.
- Cánovas, A. (1960). El tratado Mon-Almonte: Miramón, el partido conservador y la intervención europea. *Ediciones Los Insurgentes*. 3(1): 5-97.
- Carcavilla, L., Belmonte, A., Durán, J. e Hilario, A. (2011). Geoturismo: concepto y perspectivas en España. Enseñanza de Ciencias de la Tierra. *Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 19(1): 81-94.
- Carcavilla, L., Delvene, G., Díaz, E., García, A., Lozano, G., Rábano, I. y Vegas, J. (2012). Geodiversidad y patrimonio geológico. Instituto Geológico y Minero de España. [En línea]. Disponible en: <http://www.igm.es/internet/patrimonio>. Fecha de consulta: 7 de octubre de 2015.
- Carcavilla, L. Durán, J. Vázquez, A. y Vázquez, J. (2014). Patrimonio geomorfológico: conservación y gestión de los edificios y paisajes tobáceos. Las Tobas en España. *Sociedad Española de Geomorfología*. 1(448): 339-348.
- Carcavilla, L. y García, A. (2010). *Geoparques, significado y funcionamiento*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Ministerio de Economía y Competitividad. 7 Pp.
- Chávez, P., Salas, U., Pérez, R., Medina, M., Villanueva, M., Arroyo, R. y Camacho, R. (2010). The impact of mining in the regional ecosystem: the Mining District of El Oro and Tlalpujahua, Mexico. *De re metallica (Madrid): revista de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero*. 15(1): 21-34.
- Cisneros, M., Camacho, R., Chávez, P., Medina, M. y Arroyo, R. (2012). Caracterización mineral y geoquímica de los jales del Distrito Minero El Oro-Tlalpujahua. Reutilización potencial de los desechos mineros. *Memorias del 3er. foro de Ingeniería e Investigación en Materiales*. 1(3): 198-203.
- Corona, P. y Uribe, A. (2009). *Atlas cartográfico del distrito minero El Oro y Tlalpujahua, Morelia Michoacán*. México: Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología. 101 Pp.
- Cortés, G., Baretton, D., and Gallego, E. (2000). Inventory and cataloguing of Spain's geological heritage. An historical review and proposals for the

future. *Geological heritage: It's conservation and management. Spain*. 1(1): 47-67.

Corvea, J., Blanco, A., Bustamante, I., Farfán, H., Martínez, Y., Novo, R., and López, N. (2014): Advances in Geoconservation in Cuba: Assessment of the Guaniguanico Range and Guanahacabibes Plain (Pinar del Río). *Springer*. 1(1): 1-16.

Crespo, A., Alcalá, L., Carcavilla, L. y Simón, J. (2011). Geología: origen, presente y futuro. Enseñanza de ciencias de la tierra. *Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 19(1): 95-103.

Dias, G., Brilha, J., Alves, C., Pereira, D., Ferreira, N., Meireles, C. y Simoes, P. (2003). Contribución para la valorización y divulgación del patrimonio geológico como recursos interpretativos: ejemplos en áreas protegidas del NE de Portugal. *Ciencias de la Tierra*. 5(1): 132-135.

Dingwall, R. (2000). Legislación y convenios internacionales: la integración del patrimonio geológico en las políticas de conservación del medio natural. Patrimonio geológico: conservación y gestión. *ITGME, Madrid*. 1(1): 15-29.

Eder, W. (1999). UNESCO Geoparks: a new initiative for protection and sustainable development of Earth's heritage. *Neues Jahrbuch Fur Geologie Und Palaontologie-Abhandlungen*. 214(1-2): 353-358.

Escobar, J., Corona P. y Salinas J. (2015). Yacimientos de oro en Michoacán. *Ciencia Nicolaita*. 1(65): 36-45.

El Oro (2016). H. Ayuntamiento de El Oro México. [En línea]. Disponible en: <http://www.eloromexico.gob.mx>. Fecha de consulta: 6 de diciembre de 2016.

Fernández, J. (2007). Identificación y evaluación de geositos en el Parque Nacional Torres del Paine. *Memoria de Título, departamento de Geología de la Universidad de Chile*. 1(1): 77.

Fernández, E., Carcavilla, L., Belmonte, A. y Ruíz, A. (2015). Estrategias de divulgación de la geología del Geoparque de Sobrarbe: La red geo-rutas a pie. *Revista del Museo Nacional de Perú*. 18(6): 483-488.

Fuming, L., Fang, W., Heigang, X., Zhaoguo, W., and Baofo, L. (2015). A study on classification and zoning of Chinese geoheritage resources in national Geoparks. *Geoheritage Digital Journal*. 1(9): 1-15.

García, Á. y Carcavilla, L. (2013). Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG), versión

18-07-2013. *Instituto Geológico y Minero de España*. 12(1): 32-61.

García, A., Carcavilla, L., Vegas, J. y Díaz, E. (2013). Algunos resultados del inventario de lugares de interés geológico de la Cordillera Ibérica. Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo. *Instituto Minero y Geológico de España*. 3(1): 379-388.

González, J., Arteaga, C., Arteaga, F., Arjona, M., and García, R. (2013). Natural landscape and Epicnemidian Locris: The historical conditions of its physical environment. Topography and history of ancient epicnemidian Locris. *Koninklijke Brill, NV, Leiden Boston*. 594(1): 9-61.

Gormaere, E., Demarque, S., Dreesen, R., and Declercq, P. (2015). The geological and cultural heritage of the Caledonian Stavelot-Venn Massif. *Geoheritage*. 8(3): 211-233.

Gray, M. (2004). Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. John Wiley and Sons. *Chichester England*. 1(1): 448.

Henriquez, M., Pena-dos-Reis, R., Brilha, L., and Mota, J. (2011). Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage*. 3: 117-128.

Martín, J., Caballero, J., and Carcavilla, L. (2012). Geoheritage information for Geoconservation and Geotourism through the categorization of landforms in a karstic landscape. A case study from Covalagua and Las Tuerces (Palencia, Spain). *Geoheritage*. 4(1): 93-108.

Martínez, P. (2007). Identificación, caracterización y cuantificación de geositos para la creación de un geoparque en Chile. *Departamento de Geología, facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile*. 1(1): 173.

Mateo, J. (1984). *Apuntes de Geografía de los Paisajes*. La Habana: Universidad de La Habana Cuba. 469 Pp.

Mateo, J. (2002). *Geografía de los paisajes. Primera parte: paisajes naturales*. La Habana: Cuba, Ministerio de Educación Superior de Cuba. 190 Pp.

Mateo, J., Da-Silva, E. y Cezar, A. (2012). Paisaje y geosistema: apuntes para una discusión teórica. *Revista Geonorte*. 4(4): 249-260.

Monge, G. y Martínez, J. (2013). El Patrimonio geológico de la Red de reserva de la Biosfera. Cuaderno del museo geológico minero: Patrimonio Geológico un recurso para el desarrollo. *Instituto Geológico y Minero de España*. 15(1): 313-322.

Muñoz, E. (1988). Georecursos culturales. Geolo-

gía Ambiental. *Instituto Geológico y Minero de España ITGE, Madrid*. 1(1): 85-100.

Navarro, V., Moya, M., Alonso, J., and Asensio, L. (2012). A syntetic model of cracking in Santos Morcillo Lake. Central Spain. *Computers and Geotechnics*. 40(1): 1-13.

Nieto, L. (2001). Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. *Boletín Geológico y Minero*. 112(2): 3-12.

Núñez, S. (2015). Rompimiento y desborde de presas de jales: El caso de estudio de Tlalpujahua (27 de mayo de 1937). *Ciencia Nicolaita*. 65(1): 95-119.

Pantoja, J. (1994). Formación Las Américas, Tlalpujahua, Michoacán, México. Una reinterpretación de los datos petrográficos, petroquímicos, tectónicos y de los mecanismos de erupción. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 11(2): 168-181.

Pulido, M., Lagar, D., and García, R. (2014). Geosites Inventory in the Geopark Villuercas-Ibores-Jara (Extremadura, Spain): A Proposal for a New Classification. *Geoheritage*. 6(1): 17-27.

Robador, A., Carcavilla, L. y Sasmó, J. (2013). *Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Guía geológica. Organismo Autónomo Parques Nacionales Madrid: Everest S.A.* 226 Pp.

Salas, U. (2010). *Historia económica y social de la Compañía y Cooperativa Minera "Las Dos Estrellas, en El Oro y Tlalpujahua. 1898-1959.* México: CSIC-CSIC Press. 564 Pp.

Salazar, A., Carcavilla, L., and Diéz-Herrero, A. (2014). Geomorphological heritage and conservation in Spain. In F. Gutiérrez and M. Gutiérrez (Eds.), *Landscapes and landforms of Spain* (pp. 307-318). Madrid: Springer, Netherlands.

Salinas, E. (1989). *Geografía física de los continentes*. La Habana: Ministerio de Educación Superior, Universidad de La Habana. 195 Pp.

Tlalpujahua (2016). Tlalpujahua Pueblo mágico de Michoacán. [En línea]. Disponible en: <http://www.tlalpujahua.com>. Fecha de consulta: 6 de diciembre de 2016.

Tongkul, F. (2015). Waterfalls of Malau basin, Geoheritage of Sabah, Malaysian Borneo. *Geoheritage Digital Journal*. 9(1): 1-11.

Travis, A. (2011). Upland classical National Park ecomodel: the Plitvice Lakes National Park, Croatia. *Planting for tourism, leisure and sustainability: international cause studies*. 1(1): 112-115.

UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2008). Operational guide for the implementation of the World Heritage Convention. [En línea]. Disponible en: <http://www.unesco>. Fecha de consulta: 11 de febrero de 2016.

Uribe, A. (1992). El Distrito Minero El Oro y Tlalpujahua entre dos siglos y el mercado internacional de tecnología. Five centuries of Mexico history, Mexico. Instituto Mora-University of California, Irvine. *Revista inclusiones*. 1(1): 119-135.

Uribe, A. (2009). Historia económica y social de la compañía minera "Las Dos Estrellas" en El Oro y Tlalpujahua, 1898-1938. *Ciencia Nicolaita*. [En línea]. Disponible en: www.cic.cn.umich.mx. Fecha de consulta: 17 de diciembre de 2016.

Uzeta, Y. (1964). Juárez y el tratado McLane-Ocampo. *Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*. 2(1): 1-26.

Vázquez, L. (2011). Social and environmental conflicts analysis in the nature park Las Lagunas de Ruidera: the influence of irrigated agriculture on tourism. *Investigaciones turísticas*. 2(1): 120-132.

Vegas, J., Alberruche, E., Carcavilla, L., Díaz, E., García, Á., García de Domingo, A. y Ponce de León, D. (2012). Guía metodológica para la integración del patrimonio geológico en los procesos de evaluación de impacto ambiental. *Instituto Geológico y Minero de España. Madrid*. 2003(15): 343-353.

Vegas, J., Alberruche, E., Carcavilla, L., García, Á., Díaz, A., García, A. y Ponce-de-León, D. (2013a). La integración del patrimonio geológico en los procesos de evaluación de impacto ambiental. Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo. *Instituto Geológico y Minero de España*. 3(1): 379.

Vegas, J., García, A., Lozano, G., Carcavilla, L. y Díaz, E. (2013b). Valoración de los lugares de interés geológico de Enguñados/Cuenca) y su aplicación para la geoconservación. Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo. *Instituto Geológico y Minero de España*. 3(1): 379.

Zouros, N. (2004). The European Geoparks Network: Geological heritage protection and local development. *Episodes*. 27(3): 165-171.



Tomado de: <https://pixabay.com/es/marat%C3%B3n-de-calle-ejecuci%C3%B3n-1149220/>

Métodos de determinación de la velocidad crítica en corredores

Methods for determining critical speed corridors

Miller Pereira-Guimarães¹

Claudio Marcelo Hernández-Mosqueira^{2*}

José Fernandes-Filho³

Sandro Fernandes-da-Silva⁴

¹Universidad Pedro de Valdivia, sede Chillán, programa de Magister en Ciencias de la Motricidad Humana, Panamericana Norte 3651, Chillán, Chile.

²Universidad de los Lagos, Departamento Ciencias de la Actividad Física, Campus Chiquihue, km 6, Puerto Montt, Chile.

³Universidade Federal de Río de Janeiro, Escuela Educación Física, Av. Pedro Calmon núm. 550, Prédio da Reitoria 2º andar, Cidade Universitária, Río de Janeiro, Brasil.

⁴Universidade Federal de Lavras, Departamento de Educação Física, Câmpus Universitário, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil, Caixa Postal 3037.

***Autor para correspondencia:**

claudio.hernandez@ulagos.cl

Fecha de recepción:

3 de mayo de 2016

Fecha de aceptación:

22 de septiembre de 2016

RESUMEN

El creciente interés en la corrida como ejercicio, y particularmente como deporte de competición, demanda estudiar la eficiencia metabólica que presentan los corredores. La estimación de la velocidad crítica (VC) ha sido utilizada en diferentes estudios por ser de fácil aplicabilidad para determinar el umbral anaeróbico del corredor, considerando la intensidad del esfuerzo y el tiempo en que se ejecuta. El objetivo del presente trabajo fue identificar y comparar la eficiencia de los métodos que están siendo utilizados en la actualidad para la estimación de la VC en corredores. Se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos publicados durante el periodo 2011

a 2016. El análisis de literatura mostró que en la estimación de la VC se emplean diferentes estrategias: test máximos y submáximos, continuos e intermitentes, en pista de atletismo, trotadora y asfalto; con distintos grupos de corredores. La velocidad crítica permitió establecer eficazmente el umbral anaeróbico de las personas que practican la corrida, independientemente del grupo de individuos analizados, de forma simple, menos costosa, e igual de confiable que otros métodos de estimación del umbral anaeróbico más sofisticados, que requieren pruebas de laboratorio.

PALABRAS CLAVE: velocidad crítica, potencia crítica, umbral anaeróbico, corredores.

ABSTRACT

The growing interest in running as an exercise, and particularly as a sport of competition, demands the study of runner's metabolic efficiency. The estimate of the critical velocity (CV) has been used in different studies to since it is a method of simple applicability to determine the anaerobic threshold of runners, taking into consideration the intensity of effort and the execution time. The objective of the present work was to identify and compare the efficiency of methods that are currently being used for the estimation of runner's CV. A bibliographic review of scientific articles published during the period 2011 to 2016 was carried out. The analysis of the literature showed the estimation of CV is determined by different strategies such as: maximal and submaximal tests, continuous and intermittent, in athletics track, treadmill and asphalt; with different groups of runners. The determination of critical velocity enabled an efficient establishment of the anaerobic threshold of runners, regardless of the group of individuals analyzed in a simpler, less costly, and equally reliable as other more sophisticated methods of anaerobic threshold estimation that require laboratory tests.

KEYWORDS: critical velocity, critical power, anaerobic threshold, runners.

INTRODUCCIÓN

La falta de ejercicio suficiente y adecuado está altamente asociada a problemas de salud que incluyen la obesidad, diabetes, hipertensión y enfermedades cardiovasculares, entre otras (Araujo-Contreras y col., 2015). Entre los beneficios de la actividad física destacan: el mejorar las funciones cardiorrespiratorias, musculares, salud ósea, estimula la autoestima, la claridad mental y el bienestar en general; así como reducir el riesgo de enfermedades no transmisibles, como las crónicas degenerativas, estrés, depresión y ansiedad (Bezares-Sarmiento y col., 2014).

La corrida es actualmente uno de los deportes más practicados en todo el mundo, y en cada

competición se suma un número mayor de participantes. Maratones como los de Washington o Berlín, reciben anualmente de 30 000 a 40 000 corredores, y tardaron únicamente 3 h en cubrir todas sus plazas de participación. La Maratón de Nueva York, por su parte, superó los 50 000 corredores (Abadia y col., 2014). Un caso interesante es el registro de participantes en el maratón internacional de Santiago, Chile, que en 2006 tuvo 1 000 corredores y más de 12 000 en 2008 (Cauas, 2008). En 20016, en su décima versión, reunió a 28 000 competidores (Maratón de Santiago, 2016). El creciente interés por esta actividad física competitiva torna imprescindible que los profesionales dedicados a la evaluación y prescripción del entrenamiento de este tipo de público, tengan herramientas precisas y de fácil aplicabilidad para el control de las variables del entrenamiento (Rojo, 2014).

En el ámbito de la fisiología del ejercicio aplicado al entrenamiento deportivo, los umbrales de transición fisiológica (UTF), han sido objeto de profundo interés de la comunidad científica, específicamente, por su estrecha relación con el desempeño deportivo en pruebas de larga duración (Pringle y Jones, 2002). Los UTF permiten evaluar dos respuestas metabólicas frente al ejercicio, que a pesar de sus distinciones, representan el mismo fenómeno fisiológico. El primer UTF (UTF1), o umbral aeróbico (UAe), es considerado el primer aumento significativo de la intensidad metabólica, en relación a los niveles basales, en el que se presenta la mayor participación del metabolismo aeróbico y a partir de este punto, comienza a haber un aumento en las concentraciones de lactato sanguíneo (Faude y col., 2009; Bertuzzi y col., 2013; Candia-Luján y de-Paz-Fernández, 2015). El segundo UTF (UTF2), el umbral anaeróbico (UAN), representa la intensidad del ejercicio en que las tasas de producción de lactato superan su remoción, induciendo una elevación abrupta del lactato sanguíneo. Esta es la etapa del ejercicio en que ocurre una mayor participación del metabolismo glucolítico anaeróbico (Svedahl y MacIntosh, 2003; Kang y col.,

2014). Dichos umbrales pueden ser identificados a través de parámetros metabólicos, mediante el análisis de las curvas de lactato sanguíneo (Svedahl y MacIntosh, 2003), parámetros ventilatorios, determinando las tasas de consumo de oxígeno (Bassett y Howley, 2000; Denadai y col., 2004), además de parámetros neuromusculares, por el análisis de la amplitud de la señal electromiográfica (Camic y col., 2010). Estas pruebas expresan de forma sistemática los índices fisiológicos, como la velocidad máxima de oxigenación ($VO_{2MÁX}$) y la máxima fase estable de lactato (MFEL) (de Barros y col., 2013). Ambos parámetros son considerados como el patrón estándar en la predicción de la capacidad aeróbica (Fraga y col., 2014).

Los umbrales metabólicos o umbrales de transición, han sido estimados como parámetros fisiológicos bastante apropiados para determinar los diferentes dominios de intensidad durante el ejercicio, específicamente porque reflejan confiabilidad las respuestas desencadenadas por el entrenamiento de resistencia, siendo así, importantes para establecer el éxito en pruebas de media y larga distancia (Guglielmo y col., 2012; Bertuzzi y col., 2013). Los medios y métodos de evaluación citados, se llevan a cabo con la aplicación de equipamientos de alta complejidad y alto costo, y además, la mayoría de las veces, abarcan un pequeño número de sujetos (Cardoso-Teixeira y col., 2009). La estimación de la velocidad crítica (VC) es una técnica no invasiva, de fácil aplicabilidad, bajo costo y que puede ser utilizada en un grupo considerado de personas, principalmente cuando el deporte en cuestión es la corrida. A diferencia de los test de laboratorio, la VC puede ser determinada a partir de un test de campo, lo que torna el test más específico a las realidades de este tipo de público (Florence y Weir, 1997).

El presente trabajo tuvo por objetivo identificar los métodos que están siendo utilizados en la actualidad para la estimación de la velocidad crítica en corredores.

Identificación y recuperación de la literatura revisada en las bases de datos

Se hizo una revisión de artículos de investigación relativos a la VC extraídos de las bases de datos Google Académico, PubMed y ResearchGate. La búsqueda y extracción de información fue realizada de enero a marzo de 2016, y fueron almacenados en el gestor de referencias bibliográficas Endnote X7.5. Los resultados se filtraron atendiendo a su objeto de análisis, considerando solo aquellos documentos que tienen como temática principal o incluyen en su muestra de estudio la estimación de la VC. Para ello, se utilizaron las palabras clave: velocidad crítica, potencia crítica, umbral anaeróbico, corredores, velocidad crítica en élite, métodos de velocidad crítica, capacidad aeróbica. En segundo lugar, se incluyeron criterios de inclusión, publicados en idioma portugués, español o inglés, con fecha comprendida en el periodo 2011 a 2016, que estuvieran disponibles de manera íntegra y gratuita. Se identificaron 27 artículos que se relacionaban con el tema en cuestión. Pero solo 8 de ellos cumplieron con los requisitos de que su diseño fuera de tipo correlacional, comparativo o de determinación.

Métodos utilizados en la actualidad para la estimación de la VC

Inicialmente, la VC fue propuesta con el término de potencia crítica (PC). Conceptualmente, los autores proponen la existencia de una intensidad máxima de esfuerzo, que consistirá en ser mantenida por un largo periodo, correspondiendo a una intensidad del ejercicio cerca del umbral anaerobio (Monod y Scherrer, 1965). El término VC puede ser definido también como la intensidad límite correspondiente a las tasas de equilibrio de lactato y de $VO_{2MÁX}$. Además de esto, varios estudios comprobaron la óptima correlación entre la VC con UAn y MFEL (Barker y col., 2012; Penteado y col., 2014; Browne y col., 2015; Ferreira y col., 2015; Messias y col., 2015). Los conceptos de la VC se apoyan en la teoría de que existe una relación entre las intensidades de trabajo y el tiempo en que ellas son ejecutadas (Hill, 1993). Se han utilizado dife-

rentes condiciones para cuantificar la VC, como por ejemplo:

- **Test contra reloj:** consiste en recorrer una distancia estipulada en el menor tiempo posible; se han encontrado distancias entre 100 m y 5 000 m (Ferreira y col., 2015). Cuando se utilizan más de dos distancias y sus respectivos tiempos, se proyecta una recta de regresión lineal correlacionando distancia *versus* tiempo, y con el coeficiente angular obtenido se determina la VC (Kranenburg y Smith, 1996; Simões y col., 2005; de-Lucas y col., 2012; Penteado y col., 2014).

- **Ecuación:** se determina la VC a través de una ecuación propuesta por Hill (2001), utilizando solo 2 distancias y sus respectivos tiempos finales. Los mismos autores proponen la utilización de una distancia mínima de 800 m y máxima de 5 000 m. La fórmula propuesta es la siguiente:

$$V_{crit} = \frac{2.^a \text{ distancia} - 1.^a \text{ distancia}}{2.^o \text{ tiempo} - 1.^er \text{ tiempo}}$$

- **Métodos con intervalos y submáximos:** se utiliza la técnica propuesta por Dekerle y col. (2010), quienes verificaron la estabilidad del lactato durante 50 min de duración, en entrenamientos con intervalos en la intensidad de la VC (10 m x 400 m con pausas de 50 s), lo que sugiere que la VC puede representar una intensidad semejante al umbral anaeróbico. Siguiendo esta línea para determinar la fiabilidad de la VC, en la prescripción del entrenamiento, se encontraron también métodos que utilizaron esfuerzos submáximos con una duración de 180 s, con un intervalo pasivo de 90 s entre ellos (Rossi y col., 2015).

- **Test con un tiempo fijo de 180 s:** donde los individuos fueron instruidos en correr a su velocidad máxima todo el tiempo. Así, con ayuda de un GPS y su respectivo software, se consideran los últimos 30 s para la determinación de la VC (Pettitt y col., 2012). Sin embargo, gran parte de los estudios de VC, aún utilizan los test continuos con distancias preestablecidas para su estimación.

Características de corredores relacionados con VC

De los ocho artículos seleccionados, el 50 % fue publicado en 2015, lo que sugiere el interés reciente de estimar la VC, empleando diferentes métodos de evaluación y en públicos de corredores distintos. La variación de la muestra comprende atletas mediofondistas de alto nivel (Ferreira y col., 2015), corredores entrenados (de-Lucas y col., 2012; Penteado y col., 2014, Hoffman y col., 2015), triatletas (Penteado y col., 2014), soldados de las fuerzas especiales (Hoffman y col., 2015), adolescentes (Browne y col., 2015), sujetos recreacionalmente activos (Fukuda y col., 2012) y mujeres en la etapa de la menopausia (Rossi y col., 2015).

La literatura consultada permitió establecer la eficiencia del método de la VC, independiente de los sujetos analizados, ya que en casi todos los estudios seleccionados hubo una buena correlación entre VC y sus respectivos marcadores de umbral anaeróbico. Solamente en el estudio de mujeres con menopausia no hubo correlación entre VC y UAn, porque el test utilizado fue a través de caminata en trotadora, no pudiendo realmente descartar la relación de la VC con este tipo de público (Tabla 1).

En este trabajo no se encontraron estudios que tuvieran como sujetos atletas de élite, debido a que este tipo de muestra es comúnmente utilizada como *n* muestral representativa de la performance máxima (Messonnier y col., 2013), quizá por el hecho de que los atletas de élite frecuentemente usan en sus evaluaciones de control del entrenamiento los métodos directos y no los indirectos, como es la VC. Otro abordaje puede ser hecho en relación a los tipos de protocolos utilizados en la determinación de la VC.

Esta revisión permitió también observar varias técnicas para la predicción de la VC en otros deportes. La cantidad de pruebas y sus distancias son las principales divergencias citadas. Por ejemplo, en un estudio que eva-

■ Tabla 1. Características de los estudios para la estimación de la VC.
Table 1. Characteristics of the studies for the estimation of the CV.

Título	Año	País	Características de la muestra	Métodos empleados
Critical velocity estimates lactate minimum velocity in youth runners	Browne y col. (2015)	Brasil	25 adolescentes (7 mujeres y 18 hombres) con edad media (14.7 ± 1.2 años) y VCRIT de 13.5 ± 1.9 km/h ⁻¹	Running performance test de 3 000 m y 1 600 m en pista oficial de atletismo (400 m)
Critical velocity determined by a non-exhaustive method in menopausal women	Rossi y col. (2015)	Brasil	9 mujeres en la menopausia, con edad media (59.8 ± 4.6 años), y VCRIT de 5.3 ± 0.4 km/h ⁻¹	Test de caminata en trotadora con pausas, de acuerdo con el protocolo propuesto por Chassain (1986)
Critical velocity is associated with combat specific performance measures in a special forces unit	Hoffman y col. (2015)	Israel	18 soldados de sexo masculino (media $\pm$ SD; edad: 19.9 ± 0.8 años), y VC media de 4.09 m/s.	3-min All-Out Exercise Test for Running. Utilizando GPS y tomando como VC los últimos 30 s del test
Comparação entre velocidade no limiar anaeróbico e velocidade crítica em corredores meiofundistas	Ferreira y col. (2015)	Brasil	9 corredores mediodondistas con edad media (30 ± 5 años) y VC: VC1 (100 m – 200 m – 400 m) = 5.7 m/s VC2 (100 m – 200 m – 800 m) = 5.3 m/s VC3 (200 m – 400 m – 800 m) = 5.1 m/s VC4 (100 m – 400 m – 400 m) = 5.2 m/s	Test máximo de 100 m, 200m, 400 m y 800 m en pista oficial de atletismo
Physiological responses at critical running speed during continuous and intermittent exhaustion tests	Penteado y col. (2014)	Brasil	9 hombres entrenados (3 triatletas y 6 corredores) con VCRIT de (14.8 ± 2.0) km/h ⁻¹	Running performance test de 2 400 m y 800 m en pista oficial de atletismo (200 m)
An alternative approach to the army physical fitness test two-mile run using critical velocity and isoperformance curves	Fukuda y col. (2012)	EE. UU.	78 sujetos (39 hombres y 39 mujeres) recreacionalmente activos, con edad media 22.1 ± 0.34 años y VCRIT de 11.2 ± 1.9 km/h ⁻¹	4 test máximos en trotadora con velocidad de 90 %, 100 %, 105 % y 110 % de la velocidad pico predicho por el test incremental previo hecho en trotadora
Is the critical running speed related to the intermittent maximal lactate steady state?	de-Lucas y col. (2012)	Brasil	8 corredores entrenados con edad media (30.3 ± 10.6 años), 40 km de entrenamiento semanal y VCRIT de 15.2 ± 1.0 km/h ⁻¹	Running performance test de 3 000 m y 1 500 m en pista oficial de atletismo (400 m)
VO ₂ máx estimado e sua velocidade correspondente predizem o desempenho de corredores amadores	Santos y col. (2012)	Brasil	12 corredores entrenados (9 hombres, edad 36.0 ± 5.0 años; 3 mujeres, edad 36.0 ± 5.2 años) y VCRIT de 14.9 ± 1.9 km/h ⁻¹	Running performance test de 5 000 m y 1 000 m en asfalto plano

lúo la VC en el canotaje, se empleó un modelo con dos distancias, mostrando mejor eficiencia que los modelos de múltiples distancias (Messias y col., 2015). A su vez, Ferreira y col. (2015), observaron que cuanto menores son las distancias utilizadas en los test de determinación de la VC, hay una tendencia de sobrestimación de la máxima fase estable de lactato (MFEL), ya que podría tratarse de distancias donde el sistema anaerobio de energía es predominante, lo que representa una limitación de la VC. El estimar con efectividad la VC permite una contribución relativa importante para evaluar el sistema aerobio de energía, ya que la misma es un parámetro de control submáximo del metabolismo aerobio (Cardoso-Teixeira y col., 2009). Comprobando esas afirmaciones, Caritá y col. (2013), demostraron que ciclistas e individuos no entrenados en ciclismo presentan diferentes respuestas de $VO_{2MÁX}$, durante el ejercicio realizado hasta la exhaustación en la VC. Así, está claro que las metodologías utilizadas para la determinación de la VC, deben ser mejor investigadas, en cuanto a los test máximos y submáximos, continuos e intermitentes y su asociación con la especificidad de cada modalidad (Fukuda y col., 2012; Ari y col., 2013).

Fukuda y col. (2012), mencionaron que una de las limitaciones de su revisión puede ser atribuida a los escasos estudios encontrados que satisfacían las exigencias del criterio de inclusión. La mayoría de los estudios de su investigación fueron del área de la natación. Sin embargo, la literatura encontrada para este estudio da lineamientos concretos para la utilización del método VC para la predicción del umbral anaeróbico en corredores. Por lo tanto, es conveniente realizar estudios basados en el método de estimación de la VC.

CONCLUSIONES

La velocidad crítica permite establecer de forma eficiente el umbral anaeróbico de los corredores, independientemente del género, grupo de edad y nivel de acondicionamiento físico. Este método puede ser aplicado en condiciones de gimnasio o al aire libre, siendo sensible, poco costoso y estadísticamente significativo cuando se compara con otros métodos de estimación del umbral anaeróbico, que se basan en evaluar el esfuerzo en distancias cortas y de baja intensidad, mediante la medición del lactato sanguíneo, tasa de consumo de oxígeno y parámetros neuromusculares.

REFERENCIAS

- Abadia, S., Medina, F. X., Sánchez, R., Bantulà, J., Fornons, D., Bastida, N., ... y Pujadas, X. (2014). Entre el boom atlético y la cooperación social: Las carreras solidarias y el ejemplo de la Trail walker España 2013. *Península*. 9(1): 105-124.
- Araujo-Contreras, J. M., Rivas-Avila, E., Avila-Rodríguez, A., Avila-Rodríguez, E. H., Vargas-Chávez, N., Reyes-Romero, M. A. y Camacho-Luis, A. (2015). Relación entre hipertensión arterial y obesidad central en madres de familia. *CienciaUAT*. 9(2): 53-58.
- Ari, E., Cihan, H., Deliceoglu, G., Sozen, H., and Can, I. (2013). The Evaluation of Athletic organizations of International Association of Athletic Federations and Olympic Games according to Critical Velocity Concept. *International Journal of Academic Research*. 5(4): 134-138.
- Barker, A. R., Bond, B., Toman, C., Williams, C. A., and Armstrong, N. (2012). Critical power in adolescents: physiological bases and assessment using all-out exercise. *European journal of applied physiology*. 112(4): 1359-1370.
- Bassett, D. and Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*. 32(1): 70-84.
- Bertuzzi, R., Nascimento, E. M. F., Urso, R. P., Damasceno, M., and Lima-Silva, A. E. (2013). Energy system contributions during incremental exercise Test. *Journal of Sports Science and Medicine*. 12(3): 454-460.
- Bezares-Sarmiento, V. R., Márquez-Rosa, S., Molinero-González, O., Jiménez-Cruz, A. y BacardiGascón, M. (2014). Estilos de vida de las

mujeres de Ocuilapa de Juárez, Ocozocoautla, Chiapas. *CienciaUAT*. 8(2): 54-61.

Browne, R. A. V., Sales, M. M., Sotero, R. D. C., Asano, R. Y., Moraes, J. F. V. N. d., Barros, J. D. F., . . . , and Simões, H. G. (2015). Critical velocity estimates lactate minimum velocity in youth runners. *Motriz: Revista de Educação Física*. 21(1): 1-7.

Camic, C. L., Housh, T. J., Johnson, G. O., Hendrix, C. R., Zuniga, J. M., Mielke, M., and Schmidt, R. J. (2010). An EMG frequency-based test for estimating the neuromuscular fatigue threshold during cycle ergometry. *European journal of applied physiology*. 108(2): 337-345.

Candia-Luján, R. y de Paz-Fernández, J. A. (2014). ¿Son efectivos los antiinflamatorios no esteroides en el tratamiento del dolor muscular tardío?. *CienciaUAT*. 9(1): 76-83.

Cardoso-Teixeira, A., Motta-Hernandez, T., Saliba, E. F., Almeida-Santos, P. A., Ferreira-Rodrigues, G., Moraes, . . . , and Fernandes-Da-Silva, S. (2009). Correlação Entre Três Distâncias Para Identificar a Velocidade Crítica em Teste de Campo. *Brazilian Journal of Biomotricity*. 3(1): 56-64.

Caritá, R. A. C., Pessôa Filho, D., and Greco, C. (2013). Cinética do VO_2 durante o exercício realizado na potência crítica em ciclistas e indivíduos não treinados no ciclismo. *Rev Motriz*. 19(2): 412-422.

Cauas, R. (2008). El boom del running en Chile, desde una perspectiva psicológica. *EFDeportes.com. Revista Digital: Educación física y deportes*. 13(121).

Chassain, A. P. (1986). Méthode d'appréciation objective de la tolérance de l'organisme à l'effort: application à la mesure des puissances critiques de la fréquence cardiaque et de la lactatémie. *Science & Sports*. 1(1): 41-48.

de-Barros, C. L. M., Mendes, T. T., Pacheco, D. A. S., and Garcia, E. S. (2013). Efeitos do calor no OBLA: comparação entre ambiente quente e temperado. *Motriz: Revista de Educação Física*. 19(2): 441-449.

de-Lucas, R. D., Dittrich, N., Junior, R. B., de-Souza, K. M., and Guglielmo, L. G. A. (2012). Is the critical running speed related to the intermittent maximal lactate steady state?. *Journal of Sports Science & Medicine*. 11(1): 89-94.

Dekerle, J., Brickley, G., Alberty, M., and Pelayo, P. (2010). Characterising the slope of the distance-time relationship in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 13(3): 365-370.

Denadai, B. S., Ortiz, M. J., and Mello, M. D. (2004). Índices fisiológicos associados com a performance aeróbia em corredores de endurance: efeitos da duração da prova. *Rev Bras Med Esporte*. 10(5): 401-404.

Faude, O., Kindermann, W., and Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts. *Sports medicine*. 39(6): 469-490.

Ferreira, C., De-Oliveira, V. M., Cavazzotto, T. G., Queiroga, M. R., Tartaruga, L. A. P., and Tartaruga, M. (2015). Comparação entre velocidade no limiar anaeróbico y velocidade crítica em corredores meio-fundistas. *Acta Brasileira do Movimento Humano-bmh*. 4(5): 17-31.

Florence, S. I. and Weir, J. P. (1997). Relationship of critical velocity to marathon running performance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 75(3): 274-278.

Fraga, C. H. W., Bianco, R., Serrão, J. C., Greco, C. C., Amadio, A. C., and Gonçalves, M. (2014). Comparação de protocolos de corrida para determinação de diferentes limiares. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 20(2): 92-96.

Fukuda, D. H., Smith, A. E., Kendall, K. L., Cramer, J. T., and Stout, J. R. (2012). An alternative approach to the army physical fitness test two-mile run using critical velocity and isoperformance curves. *Military medicine*. 177(2): 145-151.

Guglielmo, L. G. A., Junior, R. J. B., Arins, F. B., and Dittrich, N. (2012). Índices fisiológicos associados com a performance aeróbia de corredores nas distâncias de 1.5 km, 3 km e 5 km. *Motriz rev. educ. fís. (Impr.)*. 18(4): 690-698.

Hill, D. (1993). The critical power concept. *Sports medicine*. 16(4): 237-254.

Hill, D. (2001). Aerobic and anaerobic contributions in middle distance running events. *Motriz*. 7(1): S63-S67.

Hoffman, M. W., Stout, J. R., Hoffman, J. R., Landua, G., Fukuda, D. H., Sharvit, N., . . . , and Ostfeld, I. (2015). Critical velocity is associated with combat specific performance measures in

a Special Forces Unit. *Journal of Strength & Conditioning Research*. 30(2): 446-453.

Kang, S., Kim, J., Kwon, M., and Eom, H. (2014). Objectivity and validity of EMG method in estimating anaerobic threshold. *International journal of sports medicine*. 35(9): 737-42.

Kranenburg, K. J. and Smith, D. J. (1996). Comparison of critical speed determined from track running and treadmill tests in elite runners. *Medicine and science in sports and exercise*. 28(5): 614-618.

Maratón de Santiago (2016). 28 000 corredores dieron vida al Entel Maratón de Santiago 2016, en *maratondesantiago.com*. [En línea]. Disponible en: <http://www.maratondesantiago.com/28-000-corredores-dieron-vida-al-entel-maraton-de-santiago-2016/>. Fecha de consulta: 21 de septiembre de 2016.

Messias, L. H., Ferrari, H. G., Reis, I. G., Scariot, P. P., and Manchado-Gobatto, F. B. (2015). Critical velocity and anaerobic paddling capacity determined by different mathematical models and number of predictive trials in canoe slalom. *Journal of Sports Science and Medicine* 14(1): 188-193.

Messonnier, L. A., Emhoff, C. A. W., Fattor, J. A., Horning, M. A., Carlson, T. J., and Brooks, G. A. (2013). Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men. *Journal of Applied Physiology*. 114(11): 1593-1602.

Monod, H. and Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*. 8(3): 329-338.

Penteado, R., Salvador, A., Corvino, R., Cruz, R., Lisboa, F., Caputo, F., and de-Lucas, R. (2014). Physiological responses at critical running speed during continuous and intermittent exhaustion tests. *Science & Sports*. 29(6): e99-e105.

Pettitt, R., Jamnick, N., and Clark, I. (2012). 3-min all-out exercise test for running. *Int J Sports Med*. 33(6): 426-431.

Pringle, J. S. and Jones, A. M. (2002). Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European journal of applied physiology*. 88(3): 214-226.

Rojo, J. R. (2014). Corridas de rua, sua história e transformações, in *VII Congresso Sulbrasileiro de Ciências do Esporte*. [En línea]. Disponi-

ble en: <http://congressos.cbce.org.br/index.php/7csbce/2014/paper/view/5905>. Fecha de consulta: 28 de enero de 2016.

Rossi, F., Kalva-Filho, C., de-Araújo, R. G., Neto, J. G., Campos, E., Pastre, C., and Junior, I. F. (2015). Critical velocity determined by a non-exhaustive method in menopausal women. *Science & Sports*. 30(1): e17-e22.

Santos, T. M., Rodrigues, A. I., Greco, C. C., Marques, A. L., Terra, B. S., and Oliveira, B. R. R. (2012). VO₂máx estimado e sua velocidade correspondente predizemo desempenho de corredores amadores. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*. 14 (2): 192-201.

Simões, H., Denadai, B. S., Baldissera, V., Campbell, C., and Hill, D. (2005). Relationships and significance of lactate minimum, critical velocity, heart rate deflection and 3 000 m track-tests for running. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 45(4): 441-451.

Svedahl, K. and MacIntosh, B. R. (2003). Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 28(2): 299-323.



Tomado de: <https://pixabay.com/es/tierra-globo-nacimiento-nuevo-405096/>

Proceso formativo ambiental universitario: trascendencia en la carrera de arquitectura

Environmental education in higher education: significance in architecture studies

Aymee Alonso-Gatell¹

Nivia Tomasa Álvarez-Aguilar^{2*}

Jaime Arturo Castillo-Elizondo²

¹Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte y Loynaz, carretera Circunvalación km 5.5, Camagüey, Cuba, C.P. 70500.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Av. Pedro de Alba S/N, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66451.

***Autor para correspondencia:**

nivial12@yahoo.es

Fecha de recepción:

13 de junio de 2016

Fecha de aceptación:

10 de octubre de 2016

RESUMEN

En cualquier esfera de actuación, toda actividad profesional ha de realizar aportes significativos a los problemas del medio ambiente. Para ello, es fundamental una educación universitaria que tribute a una formación socialmente responsable. Generalmente, la educación ambiental en la universidad muestra un carácter asistemático, debido a la falta de proyección. El objetivo del artículo fue determinar la importancia social de promover la formación ambiental del estudiante universitario como un proceso formativo con toda su rigurosidad. Se exponen fundamentos esenciales de dicho proceso en sentido general y en particular, en la carrera de Arquitectura, basados en el método de análisis-síntesis y ar-

gumentación lógica, a partir del estudio de las principales premisas teóricas y empíricas que abordan la temática. Se concluye que es de gran relevancia incluir en los programas de arquitectura la formación ambiental como un proceso organizado, sistemático e integrador, que le permita al egresado cumplir con la responsabilidad social que de él se espera.

PALABRAS CLAVE: proceso formativo, formación ambiental, estudiantado universitario, carrera de arquitectura.

ABSTRACT

In every scope of action, professional activity should make significant contributions to solve environmental problems. In order to achieve this, it is essential for higher education

institutions to include a socially responsible education as part of their curriculum. Environmental education in higher education has traditionally shown an unsystematic character due to a lack of support. The objective of the present paper is to determine the social importance of promoting a rigorously designed environmental education program in a higher education context. The essential underpinnings of this process are presented. The design of the program was based on the analysis-synthesis and logical argumentation methods and was specifically focused to meet the needs of undergraduate students of architecture by taking into consideration the essential theoretical and empirical assumptions that address the subject matter. The paper concludes that it is highly relevant to include a well organized, systematic and integrative environmental education program as part of the undergraduate program in architecture. Such program will allow architecture graduates to comply with the social responsibility that is expected from them.

KEYWORDS: education process, environmental education, university students, architecture degree.

INTRODUCCIÓN

Los tiempos actuales se caracterizan por transformaciones aceleradas en la ciencia y la técnica, más no en el desarrollo humano. Se requiere que los futuros profesionales sean capaces de tomar decisiones basadas en la reflexión y el análisis, y que, en pro de la responsabilidad social corporativa, sean sensibles hacia las problemáticas sociales (Ugarte y Naval, 2010).

El reconocimiento del significado y el sentido, en la educación universitaria, posibilita una formación del estudiantado universitario en todas las direcciones, en correspondencia con una preparación para vivir y transformar la vida. Se traduce en una coherencia vinculada y orientada a la humanización del proceso educativo universitario. Los conceptos de me-

dio ambiente y sustentabilidad adquieren relevancia en la actualidad y, en consecuencia, mayor repercusión en la esfera educativa, por tener un fuerte impacto en lo profesional (Cantú, 2010; Basto, 2012; Chamorro, 2012; González-Anleo, 2012; Núñez y col., 2012; Sierra, 2012).

En el sector académico, las universidades están tratando de inculcar en los estudiantes la preocupación por el medio ambiente, a través de actividades para concientizar sobre la problemática ambiental y para aminorar los efectos del cambio climático (Herrera-Izaguirre y col., 2011; Mendoza-Cavazos, 2016).

No obstante, a pesar del esfuerzo realizado en los últimos años, no se han logrado los avances esperados, en cuanto a la formación ambiental, aunque se han obtenido aportes que enfatizan en la necesidad de construcción de un nuevo paradigma educacional, centrado en el ser humano, como sujeto histórico transformador del contexto en el que se desenvuelve (López, 2005; Calvo y Gutiérrez, 2007; Santos y Villalón, 2009; Núñez y col., 2012; Rivarosa y col., 2012).

Molano y Herrera (2014), expresan que durante las últimas cuatro décadas, los organismos internacionales han manifestado la importancia de la inclusión de la formación ambiental en los planes de estudio formal, pasando desde directrices generales y poco precisas, hasta definir con exactitud lo que se quiere. Sin embargo, hay un amplio trecho que recorrer en este sentido.

Los estudios del medio ambiente tienen un carácter multifactorial y multidisciplinario. Tal y como señalan Drews y van-den-Bergh (2016), el debate académico y público, acerca del medio ambiente y la sostenibilidad, se ha fortalecido recientemente. Justamente, Novo y Murga (2010), apuntan que: “actualmente vivimos una situación generalizada de cambio global, un cambio en el que, por primera vez en la historia, el planeta ya ha comenzado a ser

condicionado en su funcionamiento por problemas que genera la especie humana”.

Desde lo sociológico, habría que centrar la atención en los trabajos que abordan la relación entre el medio ambiente y la sociedad. Por una parte, los efectos sociales de las alteraciones en el entorno natural, y por otra, las repercusiones que sobre este tienen las transformaciones y cambios sociales (García, 2004). Otros autores, como Rojo (1991), Woodgate y Redclift (1998) y Lezama (2008), refieren las relaciones socialmente significativas de los seres humanos con el medio ambiente.

Una comprensión filosófica de este tema, consciente asumir un enfoque dialéctico sobre la interacción sociedad-naturaleza, como un proceso complejo y contradictorio. Postura esencial que se aplica para prevenir, mitigar o solucionar problemas globales que afectan a la humanidad. A su vez, cobra interés la complejidad que encierra la causa-efecto-solución, implicada en las relaciones entre lo económico y social, la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

La formación de nuevos profesionales es un proceso social sistematizado y regulado, en el que se debe evitar al máximo que quede sometido a la espontaneidad de los participantes o sus dirigentes, por lo que es necesario su estudio mediante metodología científica y pensamiento crítico, no solo en lo general, sino desde las particularidades de las diferentes carreras. Solo así se puede incidir en su perfeccionamiento (Pérez, 2009; Valera, 2010; Medina, 2012; Pérez y col., 2012).

La formación ambiental del estudiante universitario, como un proceso sistemático y dinámico, ha de considerar como mencionan Amador y Esteban (2011), que: “estamos ante una sociedad en la que se producen cambios de manera vertiginosa. Esta rapidez dificulta la propia capacidad de responder y adaptarnos a ellos”. De esta forma, es evidente que las personas deben aprender a desarrollar competen-

cias, que den respuestas a estas nuevas y rápidas demandas que caracterizan la sociedad actual.

La novedad que aporta la educación ambiental hoy día, es que el medio ambiente, además de medio educativo, contenido a estudiar o recurso pedagógico, aparece con entidad suficiente para constituirse como objeto de la educación (Martínez, 2009). Como expresa Mayor-Zaragoza (2009): sin una educación conscientemente orientada hacia la protección y cuidado del medio ambiente, es imposible comprender que el desarrollo es un derecho humano y la adopción de medidas en favor de un desarrollo social sostenible es un imperativo ético. Más que el crecimiento económico, que es un motor y no un fin en sí, el desarrollo es, en primer lugar y ante todo, social; está, además, estrechamente relacionado con la paz, los derechos humanos, el ejercicio democrático del poder y el medio ambiente y, finalmente, aunque no por ello menos importante, con la cultura y con el modo de vida de la población. En este trabajo se comprende la educación como un concepto integral, que conjuga en el ser humano todos aquellos aspectos que conforman el ambiente natural, biológico, psíquico, moral y espiritual (Alonso y col., 2014b). León (2007), afirma que: “la educación es un proceso humano y cultural complejo”. Es por ello, que la formación del estudiantado universitario en general y en particular de la carrera de Arquitectura, ha intentado abordar, por un lado, el conocimiento humanístico, arte, historia, cultura, sociedad (Pérez, 2009), y por otro lado, los aspectos técnicos, propios de la carrera. Significa que se requiere concientizar la necesidad de la sostenibilidad que como refieren Barraza y Castaño (2102): “es una forma de vida que busca una rearmonización entre los aspectos ambientales, sociales, políticos y económicos”.

Para lograr lo antes expuesto, son de gran importancia las investigaciones que revelan las relaciones pedagógicas fundamentales que han de ocurrir para lograr un proceso formativo ambiental en la universidad. En particular, en la

carrera de arquitectura, por la implicación de este profesional en encontrar soluciones efectivas en el cuidado y protección del medio ambiente.

El objetivo de este estudio fue analizar la importancia social de promover la formación ambiental del estudiante universitario, como un proceso formativo con toda su rigurosidad, al conjugar armónicamente las necesidades sociales, las personales y las especificidades de cada carrera, centrando el trabajo en la carrera de Arquitectura.

La dimensión ambiental como un proceso formativo en la universidad

Vallaeys (2014), afirma que: “A la universidad le es muy difícil admitir que también puede dañar al mundo, producir y reproducir injusticias sociales, acelerar la actual inclinación de la humanidad hacia su insostenibilidad planetaria”. Es tan perjudicial este no-reconocimiento, como el pensar que la formación socialmente responsable se logra “por añadidura”. Este tipo de formación solo ocurre a través de un proceso organizado, sistematizado y controlado. Avendaño (2012), argumenta que: “la comprensión de las necesidades e intereses ambientales, por parte de los estudiantes, como eje de cambio social, es primordial para la sistematización de la información que permita aminorar el deterioro ambiental y cimente las bases de una conciencia socialmente responsable”.

En la literatura consultada coexisten múltiples definiciones de formación ambiental, con distintos significados y alcances. En el caso del proceso formativo ambiental, del estudiantado de arquitectura, se sugiere considerar tres aspectos importantes: la concepción del proceso formativo en general, la formación ambiental como un componente de este proceso general y el proceso formativo específico del estudiantado de arquitectura.

En cuanto al segundo aspecto, la formación ambiental como un componente de este proceso general, es la visión del Programa de las Nacio-

nes Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 1982). Se mantiene vigente, al especificar que la formación ambiental es un conjunto de “actividades teóricas y/o prácticas que llevan a una más adecuada comprensión de los problemas ambientales y a un entrenamiento técnico (capacitación), para el manejo de los ecosistemas, en función de una adecuada calidad de vida”.

Ruiz y col. (2008), refieren que “una meta esencial de la educación es la formación integral del ser humano, que se relaciona con la formación en una cultura general e integral en toda su diversidad: técnica, especializada en determinada profesión; científica, para la convivencia social; cultura política, histórica, humanista, ambiental, estética y otras manifestaciones, que como partes, se van configurando en una totalidad: el estudiante como ser social y a la vez como individualidad”. De acuerdo a lo antes expuesto en este estudio, el proceso formativo ambiental del estudiantado universitario parte de la comprensión del proceso formativo en sentido general, sin distinguir un tipo de formación en específico, y a su vez, se orienta a una dimensión particular, que es la ambiental (Alonso y col., 2014b). Se apoya en una serie de principios, derivados de sus objetivos específicos, entre los que destacan:

1. Orientación positiva hacia la sociedad. La formación ambiental no es neutral, ha de ser un acto consciente basado en valores para la transformación social. Significa dirigir el proceso a la formación de una conciencia ciudadana que potencie desde lo individual, la protección del medio ambiente y el desarrollo sustentable.
2. Orientación social de la ciencia y la tecnología. Se sustenta en la idea de formar un profesional capaz de conocer y aplicar los adelantos de la ciencia y la tecnología, relacionados con su profesión en función del cuidado y protección del planeta Tierra.
3. Orientación hacia la unidad de lo cognitivo-instrumental y lo afectivo-motivacional. Sig-

nifica que ha de dirigirse al desarrollo de conciencia, conocimientos, habilidades, destrezas, comportamientos, actitudes, sentimientos, intereses y valores. A partir de aquí, se consolidan modos de actuación ambientales responsables.

4. Carácter integrador de los procesos que permiten el desarrollo de competencias con enfoque ambiental. Precisa mostrar las relaciones entre los saberes conceptual, procedimental y actitudinal, orientadas hacia la manifestación de una conciencia ecológica en los modos de actuación profesional.

López (2005), destaca que la enseñanza de cualquier disciplina debe tener una base encaminada a lograr una conciencia de protección ambiental y, con mayor motivo, de aquellos profesionales que tienen una relación muy directa con la modificación de las condiciones naturales del territorio, como es el caso del arquitecto. En este trabajo se asume que la formación ambiental universitaria presenta rasgos comunes a todas las carreras. Sin embargo, cada una de ellas posee peculiaridades, dependiendo del objeto de trabajo y los problemas profesionales que deben enfrentar los estudiantes una vez egresados (Alonso y col., 2016). Por ello, las consecuencias ambientales, de los diseños surgidos de la actividad del egresado de arquitectura, cobran una mayor relevancia.

Es comprensible que el término formación ambiental no satisfaga totalmente los propósitos del presente estudio, ya que ella puede ocurrir hasta de manera informal. Sin embargo, al hablar de proceso formativo se toman en cuenta sus rasgos específicos de sistematicidad, organización y orientación a determinados objetivos. De aquí que; el proceso formativo específico del estudiante de arquitectura deviene en el proceso dirigido al desarrollo integral de este profesional, de manera que pueda ser competente para la creación y transformación de espacios arquitectónicos y urbanos, con una gestión sostenible de su práctica profesional. Todo ello, sobre la base de una

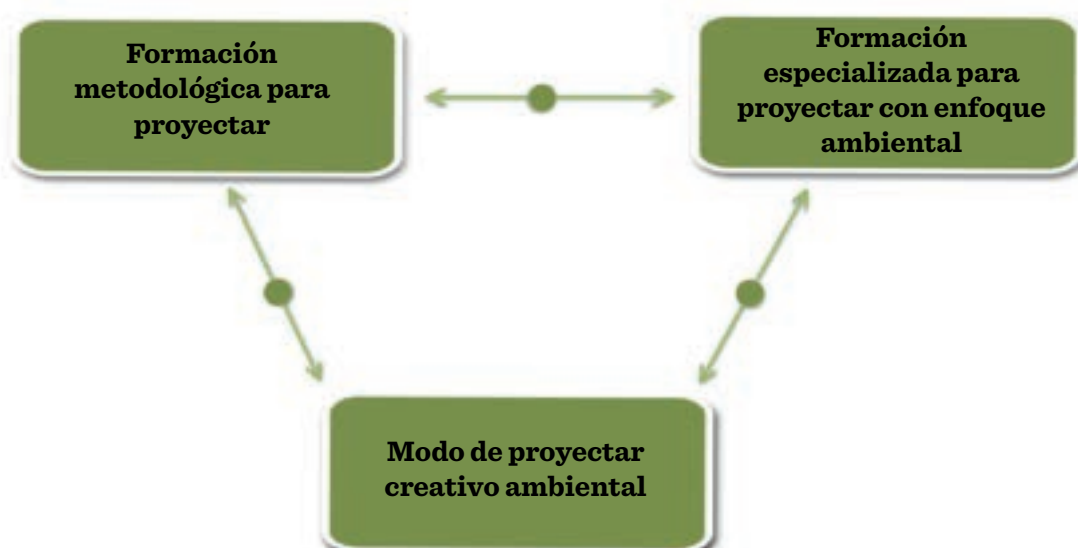
conciencia ecológica general y una adecuada comprensión de los problemas ambientales de su profesión.

Análisis del Proceso Formativo Ambiental (PFA) en la carrera de arquitectura

Los planes de estudio de las carreras universitarias con frecuencia destacan la formación ambiental como uno de sus objetivos fundamentales. Sin embargo, “no es suficiente que, en los currículos escolares, se implemente la educación ambiental como eje transversal, pues aún existe una serie de factores que deben ser examinados y transformados a fin de consolidar una auténtica pedagogía ambiental” (Basto, 2012).

Los últimos 40 años, se han caracterizado por una gran diversidad de programas de Educación Ambiental, que han puesto en evidencia un amplio abanico de propuestas de formación escolar y ciudadana, que poseen dos ejes centrales: uno, refiere a favorecer vínculos de mayor integración entre los múltiples conocimientos, que incluye lo ambiental, y el otro, refiere a construir nuevas propuestas de acción ética y ciudadana (Rivarosa y col., 2012).

A pesar de lo antes dicho, de acuerdo a la revisión de la literatura sobre el tema, es limitada la información de la bibliografía en el ámbito internacional, así como de investigaciones específicas sobre concepciones y modelos acerca de la formación ambiental del estudiante de arquitectura, y menos aún existe información sobre la concepción de ella como un proceso formativo en sí mismo. No obstante, en diferentes trabajos se puede encontrar información útil que permite comprender su esencia e importancia (Calvo y Gutiérrez, 2007; Muñoz, 2008; Basto, 2012; Chamorro, 2012; González-Anleo, 2012; Núñez y col., 2012; Rivarosa y col., 2012; Sierra, 2012; Alonso y col., 2014a; Mendoza-Cavazos, 2016). Lo apuntado es un tanto paradójico, ya que el objeto de la profesión del arquitecto se vincula de manera ineludible con un desarrollo sustentable de la sociedad.



■ **Figura 1. Formación de la actuación ambiental.**
Figure 1. Environmental performance development.

En relación con lo anterior, Calvo y Gutiérrez (2007), expresan que: “si hay quien piensa que la educación ambiental debe preocuparse exclusivamente por la sensibilización y la mera interpretación, también hay defensores a ultranza de una educación ambiental más crítica, políticamente comprometida y volcada a la acción, la transformación y el cambio de los conocimientos, las actitudes, los procedimientos, los estilos de vida, las concepciones y hábitos sobre el uso de los recursos”.

El PFA en la carrera de arquitectura está integrado, a su vez, por procesos más específicos que abarcan los aspectos cognitivos generales y singulares (Alonso y col., 2014b). En este estudio se hace referencia a la formación de la actuación ambiental (Figura 1). Esta se conceptualiza como el proceso transformador hacia una conducta responsable de los estudiantes y las estudiantes hacia el medio ambiente. Implica nuevas formas de convivencia, traducidas en la capacidad de autorregulación y autodirección consciente, en una sociedad cada vez más deteriorada humana y ambientalmente.

La formación metodológica para proyectar, se admite como el proceso que permite perfeccionar este tipo de actividad estudiantil en el pro-

ceso de diseño, y es de vital importancia. Como bien expresa Muñoz (2008): “el proyecto desde el que se genera la arquitectura tiene una estructura interna compleja, ya que debe aunar muchos tipos distintos de análisis de fuentes, de técnicas, de disciplinas diversas, para llegar a la síntesis creadora del proyecto”. Proyectar es una labor creativa, intelectualmente enriquecedora y personalmente muy satisfactoria. La complejidad de la actividad proyectual, los múltiples factores que en ella intervienen, la diversidad de técnicas y conocimientos necesarios y la necesidad de desarrollar simultáneamente la libertad creadora y el control crítico, hacen del aprendizaje del proyecto una de las labores más arduas a las que se tiene que enfrentar el estudiantado de esta carrera. Y es que según Muñoz (2008): “la arquitectura deseada, ideada o intuita, solo puede hoy hacerse a través de un laborioso proceso de creación, mediante el que se obtiene un complejo modelo documental previo.”

Desde la concepción misma de la humanidad, la arquitectura siempre ha sido el resultado de la permanente relación del ser humano con su entorno natural. A medida que ha evolucionado la sociedad y su cultura, la influencia de ésta ha sido mayor sobre la naturaleza, por la acción misma del hombre (Rada y col., 2012).

Pérez (2016), refiere que el desarrollo del proyecto arquitectónico es hoy un instrumento pedagógico esencial del aprendizaje teórico-práctico de la arquitectura. De allí que, la educación para la arquitectura sostenible forma arquitectos con una estrecha relación con el medio ambiente, capaces de desafiar el impacto ambiental que representa la acción de construir, de tal manera que esté presente en los procesos sociales, económicos y ambientales generados al proyectar, edificar y habitar.

De acuerdo a lo expuesto, se puede decir que la elaboración del proyecto arquitectónico es una síntesis creativa de todo lo aprendido en la escuela. La enseñanza de proyectos a través de trabajos en taller, con el asesoramiento del profesor y la constante socialización entre el estudiantado, propicia la asimilación de conceptos y desarrolla capacidades conforme a las necesidades individuales y del grupo. En una solución constante de los errores cometidos se adquiere un sólido aprendizaje, se desarrolla la capacidad y destreza en ese complejo proceso de análisis y síntesis, que requiere la elaboración del proyecto de arquitectura.

La formación especializada para proyectar con enfoque ambiental, es un proceso que discurre desde la Teoría de la Arquitectura y del diseño. Sus principios y la composición arquitectónica han de responder a propuestas de proyectos sustentables. Es un proceso contextualizado que establece las situaciones de aprendizaje, para que los estudiantes y las estudiantes “aprendan a aprender” la nueva realidad profesional bajo el paradigma del desarrollo sustentable (Alonso y col., 2014a). Se requiere de una formación especializada para proyectar con enfoque ambiental, que debe concretarse en clases desarrolladoras e integradoras. Este tipo de clases potencian el aprendizaje desarrollador que según Castellanos y col. (2002, citado por González y col., 2009), es aquel que garantiza en el individuo la apropiación activa y creadora de la cultura, propiciando el desarrollo de su auto-perfeccionamiento constante, de su autonomía y autodeterminación, en

íntima conexión con los necesarios procesos de socialización, compromiso y responsabilidad social. En la carrera de arquitectura es pertinente tomar en cuenta, entre otros, los rasgos característicos de una clase desarrolladora e integradora sobre la educación ambiental que se enuncian a continuación (Easy y col., 2011).

- Transitar de un profesor informativo, transmisor del conocimiento, a un profesor director y facilitador del conocimiento del medio ambiente. De un(a) estudiante pasivo(a) y receptor(a) del conocimiento, a uno(a) protagonista, participativo(a), reflexivo(a) para contribuir al mejoramiento y solución de los problemas y consecuencias del progreso científico técnico.
- Rebasar la transmisión de conceptos acabados, a conceptos elaborados por los y las estudiantes, de forma práctica y aplicada a la realidad ambiental territorial, pero con un fundamento científico; que además favorezcan formas participativas en la gestión de soluciones.
- Lograr un sistema de actividades orientado a la búsqueda y exploración del conocimiento acerca de por qué surgen los problemas ambientales, cuáles son sus efectos y las alternativas de solución, desde posiciones reflexivas, críticas y participativas.
- Propiciar la formación de conceptos y el desarrollo de los procesos lógicos del pensamiento (análisis-síntesis, abstracción-generalización, y otros), sobre el medio ambiente y su papel como sujeto activo de la sociedad, participando en la prevención y solución de estos problemas.
- Trabajar los diferentes niveles de asimilación del conocimiento (conocer, saber, saber hacer y crear), aplicados al medio ambiente y su protección, de acuerdo a la complejidad de las relaciones del medio ambiente y la sociedad.
- Integrar lo instructivo con lo educativo a favor de la protección ecológica, favoreciendo la formación de convicciones para su uso racional, así como promover la utilización de la zona de de-

sarrollo intelectual potencial, como un pensamiento innovador a partir de los problemas ambientales y situacionales.

Para la formación de la actuación ambiental, constituye un requisito el modo de proyectar creativo ambiental. Este modo es considerado como un proceso dinámico, dirigido a la transformación paulatina del actuar profesional del estudiantado hacia el medio ambiente, a través de la actividad proyectual. Su propósito esencial es formar una cultura ambiental, en correspondencia con las exigencias de la sociedad, que contribuya a su futuro modo de actuación profesional responsable.

La práctica proyectual dirigida al desarrollo de proyectos, donde la toma de decisiones se apoya en aspectos objetivos, derivados de la aplicación de metodologías idóneas, favorece el diseño donde se toma muy en cuenta el ambiente. Se orienta a la puesta en práctica de conocimientos, habilidades y competencias en general del diseño, en un determinado contexto.

De lo anterior, se desprende que el sentido ambientalista en la creación arquitectónica y desde una perspectiva pedagógica, tal y como se aborda en este trabajo, se expresa en la apropiación por el estudiantado de conocimientos, habilidades y actitudes relacionadas con su compromiso con la conservación y protección del medio ambiente, desde el proceso profesional de diseño. Este hecho se manifiesta en la carrera, a partir del logro de la unidad entre significados de los objetivos ambientales y sus sentidos, lo que posibilita una formación en todas las direcciones. En este caso, el sentido, como expresa Ruiz (2010): “posee un carácter más flexible, tiene una relación directa con cada estudiante, sus motivaciones, su manera de ver el mundo, sus sentimientos, sus experiencias, sus expectativas. De aquí su relación con el aspecto axiológico”.

Si el proceso de diseño arquitectónico se concentra solo en el aprendizaje de su aparato conceptual, sin enfatizar su sentido ambientalista,

entonces es una formación parcial, incompleta, no trascendente. Por el contrario, cuando en este proceso se toma en cuenta el plano axiológico, se logra su trascendencia, es significativo, perdurable y permite la transformación propia, así como la preservación y transformación en sentido positivo y con visión futurista del medio ambiente. Su esencia se corresponde con un proceso de creación y transformación de espacios arquitectónicos y urbanos, de manera flexible, que resuelva los problemas del hábitat de un modo sustentable, en beneficio de las personas, el medio ambiente y de las exigencias apremiantes de la sociedad actual y futura.

CONCLUSIONES

La educación ambiental es un tema analizado con frecuencia en los foros académicos y la literatura científica desde una perspectiva general, que involucra a los diferentes sectores de la sociedad, incluyendo a las instituciones de educación superior, pero que en pocas ocasiones se aborda su análisis como un proceso integral, en el que se analice la presencia de rasgos que denoten la presencia de espontaneidad y asistematicidad en la práctica formativa universitaria, o en el desarrollo de modelos y estrategias para atender este problema. En forma particular, la formación ambiental en la carrera de arquitectura requiere atender las peculiaridades específicas de esta profesión, adicional a la formación común que se da a los diferentes profesionistas, para que los egresados presenten una visión de sustentabilidad en los diferentes emprendimientos que realicen, mostrando responsabilidad social y ambiental. Esto sólo puede lograrse si la formación ambiental del arquitecto se realiza a través de un proceso organizado y sistemático en el que se promueva el cuidado y protección al medio ambiente, conscientes del impacto que su ejercicio causará al hábitat en que trabajen. Algunas de las premisas esenciales expuestas en este trabajo, quedan como insumo para el desarrollo de trabajos futuros con temáticas similares o complementarias.

REFERENCIAS

- Alonso, A., Álvarez, N. T., and Castillo, J. A. (2016). Environmental professional competence education: a need of university students and present and future society. *Journal of Education and Human Development*. 5(1): 142-145.
- Alonso, A., Álvarez, N. T., Pérez, E. y Carreón, M. L. (2014b). La formación ambiental del estudiante como una necesidad actual. *Multidisciplinas de la ingeniería*. 2(2): 215-220.
- Alonso, A., Torres, A. y Álvarez, N. (2014a). Formación ambiental del estudiante de arquitectura en el contexto cubano. Contexto. *Revista de la Facultad de Arquitectura*. 8(8): 68-90.
- Amador, L. V. y Esteban, M. (2011). Desde la educación social a la educación ambiental. Hacia una intervención educativa socioambiental. *Revista de Humanidades*. (18): 147-160.
- Avendaño, W. C. (2012). La educación ambiental (EA) como herramienta de la responsabilidad social (RS). *Revista Luna Azul*. 35: 94-115.
- Barraza, L. y Castaño, C. (2012). ¿Puede la enseñanza de la ciencia ayudar a construir una sociedad sostenible?. Profesorado. *Revista de Currículum y Formación de Profesorado*. 16(2): 45-58.
- Basto, S. (2012). Un diseño de educación ambiental desde las perspectivas ecológica y educomunicativa. *Educación y Futuro. Revista de investigación aplicada y experiencias educativas*. 26: 43-71.
- Calvo, S. y Gutiérrez, J. (2007). *El espejismo de la educación ambiental*. Madrid: Morata. 124 Pp.
- Cantú, I. (2010). Nuevos desafíos en la formación de arquitectos a partir del impacto de la sostenibilidad en la arquitectura. *Entelequia*. (12): 273-287.
- Castellanos, D., Castellanos, B., Llivina, M. J., Silverio, M., Reinoso, C. y García, C. (2002). *Aprender y enseñar en la escuela*. La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación. 190 Pp.
- Chamorro, P. (2012). Educación para la acción desde Green-peace. *Educación y Futuro. Revista de investigación aplicada y experiencias educativas*. 26: 71-87.
- Drews, S. and van-den-Bergh, J. (2016). Public views on economic growth, the environment and prosperity: Results of a questionnaire survey. *Global Environmental Change Journal*. 39: 1-14.
- Easy, A., Easy, Y. y Selpa, Y. (2011). Metodología para el estudio de los problemas ambientales en la clase desarrolladora e integradora sobre educación ambiental, en *Cuadernos de Educación y Desarrollo*. [En línea]. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/ced/28/ppm.htm>. Fecha de consulta: 11 de diciembre de 2016.
- García, E. (2004). *Medio ambiente y sociedad. La civilización industrial y los límites del planeta*. Madrid, España: Alianza Editorial. 356 Pp.
- González-Anleo, J. (2012). Juventud, medio ambiente y crecimiento sostenible. *Educación y Futuro. Revista de investigación aplicada y experiencias educativas*. 26: 87-105.
- González, M., Fernández, A. y Valdés, R. (2009). Perfil del profesor y de la clase universitaria en Cuba: resultado de un estudio de caso. *Educação em Revista*. 25 (12): 107-132.
- Herrera-Izaguirre, J. A., López, L. H., Salinas, R. A., García, M., Hernández, F., Rodríguez, J. G., ... y Palomo, R. (2011). La experiencia de la Facultad de Comercio, Administración y Ciencias Sociales de Nuevo Laredo, Tamaulipas ante el fenómeno del cambio climático. *CienciaUAT*. 6(1): 32-37.
- León, A. (2007). ¿Qué es la educación?, en *Revista Educere*. [En línea]. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/20200/2/articulo2.pdf>. Fecha de consulta: 25 de febrero de 2013.
- Lezama, J. (2008). Medio ambiente, sociedad y gobierno: la cuestión institucional. [En línea]. Disponible en: <http://www.worldcat.org/>. Fecha de consulta: 23 de febrero de 2013.
- López, M. (2005). Formación para la sostenibilidad en arquitectura y urbanismo. 9no Congreso Nacional del Medioambiente. Cumbre de desarrollo sostenible, en *Comunicación técnica*. [En línea]. Disponible en: http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2618_ML%F3pez.pdf. Fecha de consulta: 15 de mayo de 2015.
- Martínez, J. F. (2009). Fundamentos de la Educación. en: Manual Educación Medio Ambiente. [En línea]. Disponible en: <https://www.unescoetxea.org/ext/manual/html/fundamentos.html>. Fecha de consulta: 13 de diciembre de 2016.
- Mayor-Zaragoza, F. (2009). La problemática de la sostenibilidad en un mundo globalizado, en *Revista de Educación*. [En línea]. Disponible en: http://www.ince.mec.es/revistaeducacion/re2009/re2009_02.pdf. Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2016.

- Medina, A. J. (2012). Formación de los tutores y el proceso de investigación en los estudios de postgrado de las universidades venezolanas, en *Revista Didasc@lia: Didáctica y Educación*. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4232582.pdf>. Fecha de consulta: 7 de octubre de 2016.
- Mendoza-Cavazos, Y. (2016). Sistemas de evaluación de la sustentabilidad en las instituciones de educación superior. *CienciaUAT*. 11(1): 65-78.
- Molano, A. C. y Herrera, J. F. (2014). La formación ambiental en la educación superior: una revisión necesaria. *Revista Luna Azul*. (39): 186-206.
- Muñoz, A. (2008). *El proyecto de arquitectura. Concepto, proceso y representación*. Barcelona: Editorial Reverté S.A. 271 Pp.
- Novo, M. y Murga, M. A. (2010). Educación ambiental y ciudadanía planetaria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. (7): 179-186.
- Núñez, M., Torres, A. y Álvarez, N. (2012). Evolución e importancia de la educación ambiental: su implicación en la educación superior. *Revista Educación y Futuro*. 26: 155-175.
- Pérez, E. (2009). La formación socio humanística del estudiante de arquitectura como campo de reflexión pedagógica. *Revista Iberoamericana de Educación*. (49): 2-12.
- Pérez, E., de-la-Herrán, A. y Torres, A. (2012). Una metodología con implicación social para el desarrollo personal. *Revista Tendencias Pedagógicas*. (19): 211-228.
- Pérez, M. (2016). La educación universitaria para la sostenibilidad arquitectónica. Caso Ecuador. *European Scientific Journal*. 12(10): 287-296.
- PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (1982). Proyecto para el establecimiento de la Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe: Balances y Perspectivas, en *XIV Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe*. [En línea]. Disponible en: <http://www.pnuma.org/forodeministros/14-panamapan09treRedFormacionAmbienta-rev1.pdf>. Fecha de consulta: 22 de abril de 2016.
- Rada, C. A., Gutiérrez, I. y Lozano, A. (2012). Herramienta didáctica, para la utilización de los estudiantes en la valoración de la sostenibilidad de proyectos arquitectónicos, de un programa de arquitectura en Barranquilla. *Revista Escenarios*. 10(1): 89-105.
- Rivarosa, A., Astudillo, M. y Astudillo, C. (2012). Aportes a la identidad de la educación ambiental: estudios y enfoques para su didáctica. Profesorado. *Revista de curriculum y formación del profesorado*. 16(2): 213-238.
- Rojo, M. T. (1991). La sociología ante el medio ambiente. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*. (55): 93-110.
- Ruiz, J. C. (2010). Diseño de una estrategia didáctica para la formación integral en la enseñanza-aprendizaje de la Física en el Nivel Medio Superior. *Lat. Am. J. Phys. Educ*. 4 (1): 844-848.
- Ruiz, J. C., Álvarez, N. y Pérez, E. (2008). La orientación socio-humanística, un aporte a la formación integral del estudiante. *Tendencias Pedagógicas*. 13: 175-191.
- Santos, I. C. y Villalón, C. (2009). La educación ambiental para el desarrollo sostenible desde la gestión, investigación e innovación educativa en la formación y desempeño del profesional de la educación. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*. 9(17):1-10.
- Sierra, L. (2012). La educación ambiental o la educación para el desarrollo sostenible: su interpretación desde la visión sistémica y holística del concepto de Medioambiente. *Educación y Futuro. Revista de investigación aplicada y experiencias educativas*. 26: 1-17.
- Ugarte, C. y Naval, C. (2010). Desarrollo de competencias profesionales en la educación superior. Un caso docente concreto. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*. 12: 1-14.
- Valera, R. (2010). El proceso de formación del profesional en la educación superior basado en competencias: el desafío de su calidad, en busca de una mayor integralidad de los egresados. *Civilizar Ciencias Sociales y Humanas*. 10(18): 117-134.
- Vallaes, F. (2014). La responsabilidad social universitaria: un nuevo modelo universitario contra la mercantilización. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*. 5(12): 105-117.
- Woodgate, G. y Redclift, M. (1998). De una sociología de la naturaleza a una sociología ambiental: más allá de la construcción social. *Revista Internacional de Sociología*. (19-20): 15-40.



Tomado de: <https://pixabay.com/es/mujer-aeropuerto-ni%C3%B1a-de-viaje-594465/>

Procesos de construcción de la identidad en jóvenes universitarios españoles migrados en el extranjero

Processes of identity construction in Spanish university students migrated abroad

Francisco Entrena-Durán*
Rubén Rodríguez-Puertas

Universidad de Granada, Facultad de Ciencias Políticas y Sociología, Departamento de Sociología, C. Rector López Argueta S/N, 18071, Granada, España.

***Autor para correspondencia:**
fentrena@ugr.es

Fecha de recepción:
8 de agosto de 2016

Fecha de aceptación:
25 de octubre de 2016

RESUMEN

La crisis económica iniciada en 2008 ha conllevado que el saldo migratorio español, tras más de dos décadas siendo positivo, volviera a partir de 2011 a ser negativo, como lo fue durante gran parte del siglo XX. Pero, a diferencia de los emigrados de antaño, los actuales son profesionistas entre 25 y 35 años y sin cargas familiares. El objetivo del presente artículo fue establecer cómo los jóvenes españoles reconstruyen sus identidades a lo largo de sus procesos migratorios y qué factores influyen en ello. Se realizaron una serie de entrevistas en profundidad, encaminadas a obtener los relatos de vida de 15 jóvenes con experiencias migratorias en el periodo de 2008 a 2014. El análisis de la información conseguida, siguiendo la Grounded

Theory, posibilita la determinación de tres categorías discursivas en la evolución de las identidades de esta población migrante, las cuales se tipifican aquí como la españolofobia (rechazo de la sociedad española), la españolofilia (añoranza de la sociedad española) y la mutación a una nueva identidad híbrida, en la que los patrones culturales de origen se entremezclan con los de la nueva sociedad donde residen. Las sucesivas transformaciones en las identidades de los jóvenes migrantes, que se tratan de conceptualizar a través de dichas categorías, están influenciadas por una serie de factores, tales como su nivel de conocimiento del idioma del país receptor, su grado de habituación al clima de dicho país, el estatus social logrado tras la emigración y las

interacciones con la población autóctona, entre otras. Por lo tanto, dichas identidades no son esenciales o estáticas, sino construcciones sociales que se van definiendo y redefiniendo (construyendo y reconstruyendo), según las situaciones de interacción (sociocultural y/o psicológica) que el proceso migratorio propicia.

PALABRAS CLAVE: Proceso migratorio, identidad, migración altamente cualificada, jóvenes, adaptación.

ABSTRACT

The economic crisis begun in 2008 caused that the migratory balance of Spain, after more than two decades of being positive, in 2011 became again negative, as it was for much of the twentieth century. However, unlike the emigrants of yesteryear, today's university emigrants are between 25 and 35 years old and without family dependents. This article examines how these new Spanish emigrants rebuild their identities during their migration processes and the factors that influence them. For this purpose, in-depth interviews were carried out with the aim of knowing the life stories of 15 young people with migration experiences during the period from 2008 to 2014. The information obtained is analyzed following the Grounded Theory method, which enables the differentiation of three discursive categories in the evolution of the identities of the young university emigrants. So, these identities are named here as Spanish-phobia (Rejection of Spanish society), Spanish-philia (longing for the Spanish society), and the mutation to a new hybrid identity, in which cultural patterns of origin are intermingled with those of the new society where the migrants live. By means of the said three categories the successive transformations in the identities of young migrants are conceptualized. In turn, these transformations depend upon a series of factors, such as the degree of knowledge that migrants have about the host country language, their degree of habituation to the climate of that country, the social status they achieve after migration, their interactions with the local population, among others. Therefore, the above mentio-

ned three identities are not essential or static, but social constructions that are defined and/or redefined (built and/or rebuilt) according to the situations of interaction (socio-cultural and/or psychological) entailed by the migratory process.

KEYWORDS: Migratory process, identity, highly skilled migration, young people, adaptation.

INTRODUCCIÓN

La profunda crisis económica iniciada en 2008 y el elevado desempleo ocasionado por ella, han causado que España, tras más de dos décadas de saldo migratorio positivo, pasara a convertirse de nuevo en un país de emigración, tal y como lo fue durante una gran parte del siglo XX. De esta forma, el saldo migratorio español volvió a ser negativo en 2011, cuando los flujos de salida superaron a los de entrada en 50 090 personas, según datos del Instituto Nacional de Estadística de España (INE, 2015). Este saldo migratorio negativo se mantuvo en el año 2012, en el que 476 748 personas migraron al extranjero, frente a 314 358 que inmigraron. En 2013, persistió esta tendencia, siendo en dicho año España el país europeo que experimentó más emigración: un total de 532 303 personas, de acuerdo a las cifras del EUROSTAT (2015).

La economía de España está cada vez más inserta en el presente contexto de globalización, característico de la actual estructura internacional de división del trabajo, del que forman parte un número creciente de empresas del país (Sassen, 2007; Adecco, 2010; Pochmann, 2011; Brazier, 2012). Se trata de un contexto de altos niveles de paro (muy relacionados con las continuas deslocalizaciones y/o relocalizaciones empresariales), en el que se enmarcan las actuales emigraciones, que afectan sobre todo a los jóvenes más cualificados. De ahí, la expresión 'fuga de cerebros' aplicada a estos jóvenes (Ruiz, 2007; Santos, 2013; Flórez-Estrada y col., 2015), muchos de los cuales, a pesar de que tienen una formación universitaria, se ven abocados a salir al extranjero en busca de trabajo o de los empleos en concordancia con su formación que no encuentran en España. Estas circunstancias, que

están en la base de la notable extensión de los sentimientos de indignación y las movilizaciones de protesta juvenil experimentadas en los últimos años en el país (Standing, 2013; Lasheras y Pérez, 2014; Sanz y Mateos, 2014), han favorecido la generalización de la tesis de la existencia de una especie de sobrecualificación de estos jóvenes (Martínez, 2013; Villar, 2014), a los que Navarro (2007) denomina como Jóvenes Aunque Sobradamente Preparados (JASP). Los datos empíricos corroboran esta tesis. Así, el informe sobre migraciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (García, 2009), muestra que España posee el nivel de sobrecualificación más elevado de los países de su entorno: el 22 % de los universitarios, mientras que la media de la OCDE se sitúa en el 13.2 %.

La crisis económica ha acrecentado las dificultades para conseguir empleo, y ha elevado los niveles de precariedad entre los jóvenes españoles. De ahí, que, ante la imposibilidad de iniciar proyectos estables de vida, esta población encuentre serios impedimentos para lograr su emancipación familiar y se vea forzada a retrasar la edad de contraer matrimonio o a posponer demasiado la decisión de ser padres (De-Marco y Sorando, 2015). Por todo ello, los jóvenes españoles (especialmente los más cualificados que cuentan con un título universitario) son un colectivo muy proclive a la movilidad geográfica y/o a la migración al extranjero. Así lo indicaban los resultados del Barómetro del Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS, 2012), donde el 58.3 % de españoles con una edad comprendida entre los 18 y 24 años, y el 43.8 % de entre 25 y 34 años, estaban dispuestos a emigrar a un país europeo. Asimismo, de los que manifestaban preferencia por emigrar dentro de Europa, el 19.5 % poseía estudios primarios, mientras que este porcentaje se incrementaba en un 45.1 % para aquellos con una titulación superior, ocurriendo algo similar en los que estaban dispuestos a trasladarse a un país fuera de Europa (13.4 % estudios primarios y 34.6 % estudios superiores).

En estas circunstancias, los debates se han centrado prioritariamente en la cuantificación del

número de jóvenes universitarios españoles migrados al extranjero, pero no hay consenso respecto a ello (Navarrete-Moreno y col., 2014; Domingo y Blanes, 2016). Por una parte, para autores como González-Enríquez (2012), la emigración producida desde España está protagonizada principalmente por inmigrantes que retornan a sus países de origen a causa de la actual crisis económica, siendo relativamente escasos los españoles autóctonos que migran al extranjero. Según esta tesis, el aumento de españoles en el exterior, que reflejan las estadísticas, se debe sobre todo al retorno de inmigrantes nacionalizados españoles, así como al considerable incremento de ciudadanos españoles en países latinoamericanos, producido por la aplicación de la Ley de la Memoria Histórica (2007), publicada en el Boletín Oficial del Estado, núm. 310, de 27 de diciembre de 2007, en la que se establecen medidas en favor de los descendientes de emigrados y exiliados que sufrieron persecución durante la Guerra Civil (1936-1939) y la dictadura franquista. El considerable impacto de dicha ley en Latinoamérica se debe a que, si bien la misma tiene un carácter general y afecta por igual a los migrados a cualquier país, el hecho es que el 95.2 % de las solicitudes procede de Latinoamérica y más de la mitad de ellas fue recibida en los consulados de La Habana (Cuba), en primer lugar, y Buenos Aires (Argentina), en segundo término (Rebossio, 2012).

Por otro lado, González-Ferrer (2013) abrió un debate, indicando que las estadísticas oficiales sobre emigración se basan únicamente en las bajas padronales, siendo sólo posibles si los emigrados se inscriben en los consulados de España. Una inscripción que, en la mayoría de los casos, no llega a producirse por los costes burocráticos y los nulos beneficios que conlleva. Por ello, las cifras anuales del Padrón de Españoles Residentes en el Extranjero (PERE), del Censo Electoral de Residentes Ausentes (CERA) o de la Estadística de Variaciones Residenciales (EVR), no son indicadores precisos de cuántos españoles se marchan, ni de en qué momento lo hicieron. Esta misma autora considera que la emigración de españoles se está produciendo a

un ritmo bastante mayor del que muestran las fuentes disponibles, como así lo patentizan las cifras de inmigración española publicadas por organismos de Alemania (Bevölkerung und Erwerbstätigkeit. Statistisches Bundesamt) o el Reino Unido (NINo Registrations to Adult Overseas Nationals entering the UK. Department for Work and Pensions), siendo estas cifras entre 4 y 7 veces mayores que las que indica el INE de España.

Más allá de los debates, en torno a la magnitud del fenómeno migratorio, no existen estudios que, apoyados en sus propios discursos, muestren cómo viven los jóvenes emigrados estos procesos migratorios, a qué obedecen, cómo se inician y con qué dificultades chocan. Así, frente a la gran cantidad de trabajos sobre cómo los inmigrantes que llegan a España experimentan estas mismas cuestiones (Álvarez, 2012; Requena y Sánchez-Domínguez, 2011; Torres, 2014), son inexistentes los estudios sobre los emigrantes que salen.

El objetivo de este trabajo fue conocer cómo los jóvenes universitarios españoles emigrados construyen y reconstruyen sus identidades a lo largo del proceso migratorio, y qué factores influyen en esa reconstrucción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Siguiendo a Bertaux (2005), se considera que, a través del estudio conjunto de los relatos de vida, elaborados por inmigrantes que a pesar de residir en lugares muy diversos (Uzbekistán, Reino Unido, Suiza, Japón, Finlandia, Hungría, Alemania y Austria), viven situaciones y mundos sociales equiparables, se podrá ir más allá de sus singularidades y lograr una representación de los componentes colectivos comunes a la generalidad de esas situaciones y mundos sociales.

A través del programa Skype, se hicieron por internet 30 entrevistas en profundidad a jóvenes de nacionalidad española, con edades entre los 25 y los 35 años, en posesión de titulación universitaria y trabajando en el extranjero, los cuales fueron seleccionados por constituir en su conjunto una muestra significativa de la realidad de

la juventud cualificada española migrada al exterior. Las entrevistas se realizaron durante los meses de noviembre y diciembre del año 2013 y marzo de 2014, desde una sala habilitada en el Instituto de Migraciones de la Universidad de Granada, España. La información obtenida de las entrevistas se analizó siguiendo los postulados del muestreo teórico, seleccionando información hasta alcanzar la saturación teórica, la cual se obtuvo con las 15 entrevistas que se discuten en este trabajo; entendiendo por saturación teórica el punto en el que las nuevas entrevistas no aportaban información adicional relevante de cara al análisis, cuya finalidad era la búsqueda de regularidades y diferencias en los procesos de evolución y reconstrucción de las identidades de los jóvenes universitarios españoles migrados al extranjero. En las entrevistas se consideraron las siguientes variables: el sexo, el núcleo de procedencia, la profesión desempeñada en el país de destino, el nivel de estudios/profesión de los padres, el hecho de haber disfrutado previamente de una beca de movilidad en el extranjero, la experiencia migratoria de la familia cercana, y el país de trabajo (Tabla 1).

Las entrevistas fueron grabadas mediante el programa Call Graph y transcritas literalmente para su posterior análisis, empleando la Grounded Theory (Teoría Fundamentada en Datos), procedimiento útil para desarrollar categorías que muestren las pautas más importantes en los datos. Así, aplicando el método de comparación constante, basado en la búsqueda de similitudes y diferencias, mediante el análisis de los incidentes contenidos en los discursos (Trinidad y col., 2012), se llegó a la tipificación de tres categorías fundamentales para explicar las transformaciones acontecidas en las identidades de estos jóvenes a lo largo de sus procesos migratorios: la españofobia, la españofilia y la identidad híbrida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los jóvenes españoles estudiados, emigrados ante el escenario de crisis económica y desempleo en que se encuentra España, sus mundos y situaciones sociales son equiparables, como

■ Tabla 1. Características sociodemográficas de los jóvenes universitarios emigrados.
Table 1. Sociodemographic characteristics of young university migrants.

Edad	Sexo	Titulaciones	Núcleo de procedencia	Profesión	Nivel de estudios/ Profesión de los padres	Experiencia migratoria en la familia	Experiencia previa con beca de movilidad	País de trabajo
35	H	Ingeniero superior de minas	Urbano	Director comercial de una empresa del sector químico	Titulación: ambos Diplomados en Magisterio	Sus abuelos emigraron a Barcelona y sus padres a Valladolid	No ha disfrutado de ninguna beca de movilidad	Tashkent, Uzbekistán
31	M	Licenciado en Farmacia	Urbano	Farmacéutica manager (jefa de farmacia)	Profesión: ambos Profesores de primaria	Sus abuelos emigraron a Francia	No ha disfrutado de ninguna beca de movilidad	Southampton, Reino Unido
25	H	Ingeniero de Caminos y pendiente de terminar un Máster	Urbano	Ingeniero de caminos (Jefe de obra)	Titulación: padre-Doctor en Ciencias Químicas/ madre-Licenciada en Filosofía	Sus tíos abuelos emigraron a Sudamérica	Beca Erasmus para estudiar un año en París, Francia	Suiza
29	M	Licenciada en Historia del Arte y en Estudios de Asia Oriental	Urbano	Trabajó en una galería de arte en Japón y actualmente disfruta de una beca para investigadores	Profesión: padre-Inspector de seguridad laboral/ madre-Ama de casa	No hay experiencia migratoria en la familia cercana	Beca de intercambio con la Universidad de Estudios extranjeros de Tokio	Tokio, Japón
32	M	Licenciatura en Pedagogía/ Máster en Antropología Social por la Universidad de Edimburgo	Urbano	Profesora de clases de inglés en colegio	Titulación: ambos Diplomados en Magisterio	Su madre emigró al Reino Unido	Beca Faro Global para prácticas en Tokio	Edimburgo, Escocia
30	M	Investigación y Técnicas de Mercado	Rural	Business analyst para la empresa Ford	Profesión: ambos Profesores de primaria	Su prima emigró a Escocia	No ha disfrutado de ninguna beca de movilidad	Essex, Reino Unido

Continúa...

35	H	Licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales	Rural	Country manager de un grupo empresarial	Titulación: padre- Licenciado en Historia/ madre- Diplomada en Magisterio	No hay experiencia migratoria en la familia cercana	Beca Erasmus para estudiar un año en Irlanda del Norte	Tashkent, Uzbekistán
26	M	Diplomatura en Trabajo social	Rural	Friega platos en un restaurante	Profesión: padre- Profesor de secundaria/ madre- Profesora de primaria	Su abuelo emigró a Alemania y posteriormente a Francia	Beca Erasmus de prácticas en Francia	Leeds, West Yorkshire, Reino Unido
31	H	Licenciado en Farmacia	Rural	Receptor y mozo de pedidos en una fábrica de lácteos	Titulación: padre- Bachillerato/ madre- Licenciatura en Filología Inglesa	Sus abuelos emigraron a Barcelona	Beca Erasmus para estudiar un año en Londres	Leeds, West Yorkshire, Reino Unido
31	M	Experta en enseñanza del español como segunda lengua y Diplomada en Derecho	Rural	Cocinera	Profesión: padre- Policía/ madre- Profesora de secundaria	Su abuelo emigró a Marruecos	No ha disfrutado de ninguna beca de movilidad	Helsinki, Finlandia
32	H	Diplomado en Ciencias Empresariales	Urbano	Servicio al cliente en agencia de viajes	Titulación: padre- Licenciado en Derecho/ madre- Sin estudios	No hay experiencia migratoria en la familia cercana	No ha disfrutado de ninguna beca de movilidad	Budapest, Hungría
28	M	Licenciada en Sociología y Máster en Dirección y Gestión de Programas Sociales	Urbano	Vendedora en una pastelería	Profesión: padre- Funcionario de justicia/ madre- Limpiadora	Su tía emigró a Londres y sus primos a Estados Unidos	No ha disfrutado de ninguna beca de movilidad	Londres, Reino Unido
25	M	Diplomada en Trabajo Social y Licenciada en Antropología	Rural	Limpiadora y estudiante para convalidación de Trabajo Social	Titulación: padre- Bachillerato/ madre- Estudios primarios	Sus abuelos emigraron a Alemania	No ha disfrutado de ninguna beca de movilidad	Frigurbo, Alemania

Continúa...

27	M	Arquitectura superior	Urbano	Arquitecta para rehabilitación de edificios antiguos	Profesión: padre-Capataz de diputación/madre-Autónoma, peluquera	Sus abuelos emigraron a Brasil	No ha disfrutado de ninguna beca de movilidad	Viena, Austria
28	H	Diplomado en Magisterio de Educación Especial y Licenciatura en Filosofía	Urbano	Aupair y cocinero en restaurante	Titulación: ambos estudios primarios	Sus hermanos han emigrado a Londres, Reino Unido	Beca de idiomas en Londres durante un mes	Helsinki, Finlandia

M= Mujer y H= Hombre

también lo es el hecho de que todos ellos sean titulados universitarios. Sin embargo, interpretan sus contextos, construyen sus estrategias y se insertan en la sociedad de destino de maneras muy diferentes.

Procesos identitarios en los jóvenes emigrados

En su proceso de integración en la sociedad de destino, las identidades de los jóvenes inmigrantes no permanecen estáticas, sino que se van definiendo y redefiniendo (construyendo y reconstruyendo), según las situaciones de interacción (sociocultural y/o psicológica) que dicho proceso propicia. Se van configurando así diferentes formas de las identidades de estos jóvenes, las cuales se desarrollan en función de cómo van apareciendo y resolviéndose los choques entre las expectativas imaginadas al inicio del proceso migratorio y las situaciones que realmente se encuentran, así como de la posición socio-laboral alcanzada, de la barrera idiomática o de la imagen construida de esos jóvenes y las subsiguientes actitudes ante ellos mostradas por la sociedad receptora. A este respecto, las identidades de los jóvenes españoles emigrados fluctúan entre lo que aquí se ha tipificado como la españofobia, la españofilia y la mutación a una nueva identidad híbrida entre el mundo de partida y el de acogida, de índole más o menos cosmopolita, y que aparece una vez que los jóvenes han sido asimilados por la nueva sociedad (Tabla 2).

La españofobia como discurso adquirido en el contexto español

Con anterioridad a su ‘salto migratorio’, los jóvenes universitarios han experimentado en España un contexto de desempleo, frustración y pesimismo, lo cual ha contribuido a propiciar entre ellos la emergencia y el desarrollo de discursos españofóbicos, caracterizados por la repulsión hacia una sociedad española que identifican con la corrupción, y vinculan el hecho de quedarse en el país con la falta de futuro, la precariedad y la explotación laboral, la frustración y la mala calidad de vida. Para estos jóvenes no emigrar supone fracasar, renunciar a las posibilidades reales que a su juicio ofrece su salida de España, tal y como se muestra seguidamente: “En España se notaba ese ambiente de malestar, todos mis amigos estaban parados, sin dinero, sin futuro. Yo no quería seguir así, era un ambiente muy negativo para mí, no me quedaba más remedio que marcharme” (E8, 26 años, Leeds, West Yorkshire, Reino Unido, 12 de diciembre, 2013); “La decisión la tomé porque a nivel psicológico y de mi vida personal en España estaba mal, yo veía que lo único que no tenía, que me faltaba, era un trabajo. No lo encontraba, que pasaba un año, que pasaba otro año, y otro año... y no encontraba trabajo, no tenía nada que hacer, no tenía futuro en España, mi futuro lo había perdido. Entonces la opción de emigrar cada vez se me iba apareciendo como más real, a pesar de que yo

■ Tabla 2. Categorías discursivas en la identidad de los jóvenes emigrados.
Table 2. Discursive categories on the identity of young migrants.

	Españofobia	Españofilia	Nueva identidad híbrida entre el mundo de partida y el de acogida
Discurso	Son jóvenes que asimilan la cultura dominante del malestar y la frustración generada en el actual contexto español, interiorizando los valores negativos en sus discursos y llevando al extremo el malestar social que perciben.	Se trata de jóvenes a medio camino entre dos realidades, ya que, aunque se encuentran desplazados físicamente, siguen arraigados mentalmente a sus orígenes. Por tanto, aunque tienen una actitud crítica hacia el contexto español, no la canalizan en una fobia, sino que muestran nostalgia hacia aspectos de la cultura española.	Se trata de jóvenes que han pasado una larga etapa en el extranjero, de manera que han experimentado una aculturación que les lleva a sentirse entre dos mundos, lo que desemboca en el surgimiento de una nueva identidad: la del migrante. Estos jóvenes muestran cierto arraigo a su país de origen, pero se sienten incómodos cuando vuelven, debido al proceso de distanciamiento que han sufrido.
Identificación	Se identifican con el exogrupo formado por la población autóctona del país de destino, mostrando alejamiento del endogrupo de la sociedad española de procedencia. Así, en su discurso tratan de asimilarse como ciudadanos del país de destino.	Se identifican con el endogrupo formado por otros españoles emigrados. Ello, como defensa ante las fuertes barreras de inserción que encuentran en la nueva cultura.	Al adquirir una identidad transnacional y un tanto cosmopolita, tienden a identificarse con personas de otros países que comparten perfiles y problemas similares, con las que tienen en común el hecho de ser jóvenes con elevada cualificación, que han emigrado buscando una oportunidad laboral.
Estrategia de adaptación	En el país de destino, como estrategia de adaptación, tratan de evitar el contacto con españoles dentro de su grupo de iguales, a la vez que procuran su rápida adaptación a las costumbres locales.	No buscan una adaptación a la cultura del país de destino. Su grupo de iguales suele estar formado por otros españoles emigrados, y tratan de mantener las costumbres españolas dentro del mismo.	Al haberse formado en ellos una identidad mixta y/o más o menos cosmopolita, suelen ser bastante abiertos a otras culturas, de manera que su grupo de iguales suele estar formado por otros españoles emigrados, jóvenes de otros países y jóvenes autóctonos del país de destino.
Posibilidad de retorno	En el discurso de estos jóvenes aparece la idea del no retorno, ya que identifican el retorno como un fracaso de su propósito inicial de desarrollar un proyecto de vida estable en el país al que han emigrado.	Para estos jóvenes la vuelta es necesaria, ya que mantienen fuertes lazos de arraigo a su país. Por ello, piensan en el retorno, aunque con cierta frecuencia lo posponen, principalmente debido al contexto de crisis económica que sufre España.	En su discurso no contemplan el retorno definitivo, debido a que han pasado una larga etapa en el extranjero que ha provocado su desadaptación a la forma de vida española.

nunca quería abandonar España, porque la emigración siempre es un proceso muy duro para una persona, vaya a donde vaya o venga de donde venga, entonces la idea cada vez se me iba haciendo más real y emigré” (E12: 28 años, Londres, Reino Unido, 9 de marzo, 2014).

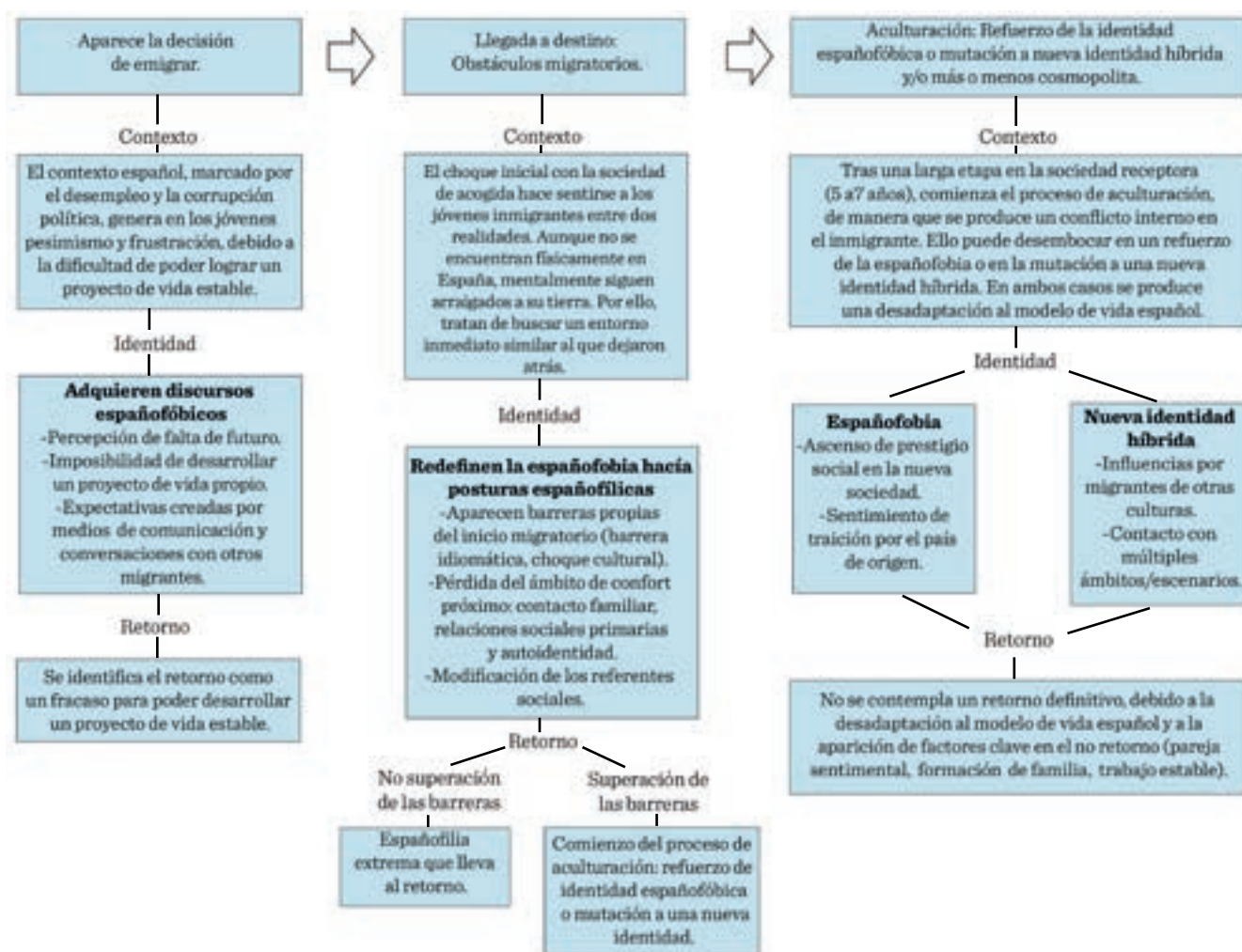
Por tanto, la españofobia es común en los jóvenes anteriormente a su decisión de emigrar, y su aparición y desarrollo está en consonancia con el ambiente de desempleo, pesimismo y frustración en el que se desenvuelven sus vidas en España. Por ello, la búsqueda de una vida propia y la emancipación familiar, a través de la consecución de un trabajo, se convierten en los motivos principales de su decisión de emigrar: “Tener la independencia de poder vivir por tu cuenta para mí es algo muy importante, y en España era algo que no podía hacer, ha mejorado bastante mi situación, desde que he salido de España hasta aquí, mi situación ha mejorado muchísimo. Tengo estabilidad porque tengo independencia sobre todo, porque yo en España vivía de mis padres, yo no podía vivir de mi misma porque no podía conseguir un trabajo. Y aquí, ha sido un cambio radical, porque he sentido que yo misma domino mi vida, tengo independencia y tengo toda la estabilidad que busco” (E12: 28 años, Londres, Reino Unido, 9 de marzo, 2014); “Los españoles que conozco son todos también licenciados universitarios que han venido aquí por la misma razón por la que he venido yo, porque en España no tenían salida laboral, no podían seguir desarrollando sus carreras y vinieron aquí, y aquí la verdad es que han mejorado, porque por lo menos han conseguido lo que todos vamos buscando, un poco de estabilidad económica, y un poco tener la vida propia nuestra ¿no?, es lo que vamos buscando” (E11: 32 años, Budapest, Hungría, 6 de marzo, 2014).

Igualmente, la decisión de emigrar es potenciada por las expectativas de mejora laboral, económica y vital adquiridas en la sociedad de origen. Estas expectativas se desarrollan en el imaginario de los jóvenes a partir de sus conversaciones con otros migrantes y por la información, con cierta frecuencia distorsionada, de los medios de

comunicación de masas (Torres, 2014). Por una parte, a veces, los primeros tienden a exagerar o inventar las situaciones que realmente viven, a la vez que a ocultar su pérdida de estatus en el nuevo país. Por otra, dichos medios suelen ofrecer los arquetipos de Alemania, el Reino Unido o Finlandia, como ‘paraísos’ para muchos jóvenes cualificados, contribuyendo así a elevar desmesuradamente las expectativas de los que deciden emigrar: “La gente que entra en Facebook solicitando ayuda es prácticamente a diario, entonces sí que yo intento que la gente no se deje llevar por la impresión que se tiene de Finlandia en España, porque no tiene mucho que ver lo que te cuentan allí con lo que es la realidad aquí, hay mucha gente que piensa que aquí es fácil tener un sueldo alto. Luego están los que han visto [informaciones televisivas sobre] la educación en Finlandia, y hay gente que se les va la cabeza tanto que pretende venirse aquí solamente por darle una mejor educación a sus hijos y... bueno, venirse a Finlandia solamente porque el sistema educativo de aquí te han dicho que es mejor que allí es sencillamente una locura” (E10: 31 años, Helsinki, Finlandia, 17 de diciembre, 2013).

Redefinición del discurso españofóbico hacia la españofilia

Una vez que se produce la llegada al país receptor comienza el proceso de redefinición de la identidad y de los discursos que la sustentan (Figura 1). De esta forma, el original discurso españofóbico puede evolucionar hacia el españofílico, a medida que los jóvenes emigrados experimentan el choque con la nueva situación socioeconómica y cultural. Esto les lleva a sentirse entre dos realidades: la de origen y la de las dificultades y barreras propias del inicio migratorio, lo que les suele incitar a añorar el confort, la familia y las relaciones sociales primarias que dejaron atrás. Se desarrolla así el discurso españofílico, como mecanismo de defensa ante la tensión y el desconcierto inicial que provoca la emigración (Orozco, 2013): “Cuando llegas te agarras a un clavo ardiendo y estás todo el rato pensando en tu casa, en tus amigos, en tu familia, te das cuenta de todo lo que has dejado atrás” (E2: 31 años, Southampton, Reino Unido, 7 de noviembre, 2013);



■ Figura 1. Proceso de redefinición de la identidad en los jóvenes emigrados.
Figure 1. Process of identity redefinition in young migrants.

“En España tenía una vida social muy grande, tengo allí muchos amigos, salía, entraba, y estaba siempre ocupado, y me lo pasaba bien. Aquí llegas y es una vida desde cero, sin conocer casi gente, sin conocer a nadie, entonces empezar de cero siempre es difícil y va más lento. Quizás allí en España era un poco mejor en el sentido de que llevaba muchos años y lo tenía todo hecho, aquí me lo estoy haciendo ahora” (E11: 32 años, Budapest, Hungría, 6 de marzo, 2014).

Se produce una profunda modificación de los referentes sociales e individuales de los jóvenes emigrados, confrontados a obstáculos como la barrera idiomática, la discriminación o el choque cultural. Ello provoca que, al inicio del proyecto migratorio, aunque desde la distancia, sigan vin-

culados mentalmente a sus orígenes, por lo que tratan de buscar un entorno inmediato similar al que dejaron atrás: “Yo vine aquí pensando en juntarme poco con españoles, luego cuando llevas un tiempo ves que los necesitas, porque encima de que no hablas muy bien inglés, pues cuando vas a una reunión sólo de inglés, te ves un poco... no sé, no rechazado, pero que no te enteras de las cosas y aquí estamos en Hungría. Entonces cuando me junto con muchos húngaros, entre ellos hablan húngaro, y a veces te sientes un poco rechazado, entonces al final acabas buscando españoles” (E11: 32 años, Budapest, Hungría, 6 de marzo, 2014). La identificación se produce con el endogrupo formado por otros españoles emigrados: “Al principio nos ayudó mucho conocer más españoles en Uzbekistán, creamos un gru-

po interno de expatriados en el que nos movemos, donde seguimos las costumbres, fiestas y también las tradiciones propias de España” (E7: 35 años, Tashkent, Uzbekistán, 10 de diciembre, 2013). En estos discursos españolíficos la estrategia de adaptación no pasa por asimilarse a la cultura mayoritaria receptora, sino por arroparse en un grupo de iguales formado por otros españoles emigrados, donde se intenta mantener las costumbres españolas, o por lo menos se trata de seguir reproduciendo las mismas en el nuevo escenario vital; es decir, se tiene aquí un caso de lo que se podría tipificar como reterritorialización de esas costumbres (Reyes, 2011).

Entre las razones que favorecen el desarrollo de estas actitudes españolíficas y/o de refugio, entre otros españoles emigrados, estaría la discriminación o estigmatización, por parte de la sociedad receptora, relacionada a menudo con la dificultad de superar las barreras idiomáticas: “No creo que esté aceptada, pero no por ser española, es porque mi inglés no es muy bueno..., bueno ahora es mejor, pero por ejemplo, cuando yo vine aquí, mi jefa yo creo que era racista en general con todos los extranjeros, porque a los ingleses no les gusta la gente que habla otro idioma y que no hablan inglés, entonces se ponen muy agresivos y no están acostumbrados a aprender otro idioma, están acostumbrados a que todo el mundo hable inglés; entonces no se esfuerzan en hacer que entiendas nada” (E8: 26 años, Leeds, West Yorkshire, Reino Unido, 12 de diciembre, 2013); “Si te puedo decir que pasan de ti y no quieren seguir hablando contigo, porque se dan cuenta de que no entiendes su inglés y no se quieren esforzar. Veo rechazo en el idioma, porque ellos están acostumbrados a que todo el mundo hable inglés y lo hablen bien” (E9: 31 años, Leeds, West Yorkshire, Reino Unido, 15 de diciembre, 2013). Estas barreras son propias del inicio migratorio y de la primera etapa de adaptación a la nueva sociedad, donde la cultura mayoritaria (dominante), tanto directa como indirectamente, obliga a los jóvenes a asimilarse, comenzando así el proceso de aculturación. La manera en que, en cada caso, se afronta y se resuelve el choque con estos obstáculos iniciales será fundamental en

la reconstrucción de la identidad de los jóvenes emigrados y en la posibilidad de su regreso o no a España.

Potenciación de la identidad españolífica y posibilidad de retorno

Durante el proceso migratorio cada emigrado se ‘reinventa’ según las condiciones de llegada, el choque entre las expectativas albergadas y el contexto que realmente encuentra y sus percepciones y valoraciones de ese contexto. Este proceso de adaptación es clave en la evolución de su identidad y en la posibilidad de retorno (Martín, 2004). Existen una serie de factores contextuales que inciden sobre la identidad, y que, sino son superados en el proceso de adaptación, pueden culminar en el desarrollo de una fuerte identidad españolífica y en el retorno a España. Entre estos factores destacan: conseguir un empleo poco cualificado y por tanto sufrir una pérdida de estatus social, no llegar a superar la barrera idiomática, dificultad para resistir el clima del nuevo entorno o ser estereotipado negativamente por la sociedad receptora.

Mantener un empleo poco cualificado y mal remunerado, durante un periodo largo de tiempo, indica una pérdida de estatus social tras la emigración. Ello ocasiona un conflicto interno derivado del choque entre las expectativas albergadas en España y lo que realmente encuentra el emigrado en la sociedad receptora, lo cual suele incrementar la identidad españolífica, como defensa ante la frustración generada en el nuevo contexto.

En segundo lugar, está la barrera del idioma que, como se ha visto anteriormente, supone un fuerte obstáculo por la ‘discriminación idiomática’ que provoca. El proceso de aculturación/asimilación pasa por el correcto aprendizaje del idioma, lo que contribuye a debilitar las tendencias hacia la españolifilia; es decir, las necesidades de buscar apoyo en un endogrupo de relaciones primarias, conformado básicamente por otros españoles emigrados. Contrariamente, la no superación de la barrera idiomática suele llevar al reforzamiento de las actitudes y el discurso españolífico. A menudo, la escasez de tiempo, debi-

do a las largas jornadas de trabajo, no favorece el contacto con la población autóctona y, por lo tanto, no ayuda a dicha superación: “En el trabajo tengo un idioma intermedio, pero en el momento que salgo de ahí no hablo prácticamente nada... o sea, un nivel totalmente básico, una vez que salgo del trabajo tengo poco tiempo para relacionarme con la gente, y en el trabajo el idioma que se aprende es poco, son palabras relacionadas con el trabajo, pero no como para mantener una conversación” (E10: 31 años, Helsinki, Finlandia, 17 de diciembre, 2013).

Otro aspecto que dificulta la adaptación es el clima, factor principalmente señalado por jóvenes migrados a países de clima frío y nublado (Hungría, Finlandia o Reino Unido). Este clima afecta incluso al estado anímico y a la salud psicológica de estos inmigrantes procedentes de un entorno cálido y soleado como el español: “Cuando vives en países como este (Finlandia), donde es prácticamente invierno todo el año, llueve constantemente, hace frío, no ves el sol, eso empieza a afectarte personal y psicológicamente. No tiene nada que ver con España, en España podías hacer vida social, pasear por la calle, aquí la gente no sale, el tiempo impide las relaciones en la calle, divertirse, salir, aquí es imposible” (E10: 31 años, Helsinki, Finlandia, 17 de diciembre, 2013).

Finalmente, otro de los factores principales (junto con la calidad del empleo encontrado y cómo ello afecta al estatus social), que inciden en la reconfiguración de la identidad de los jóvenes emigrados, es la percepción que se tiene de la sociedad española en la sociedad receptora. Así, una imagen estigmatizada de dicha sociedad dificulta la autopercepción y la autopresentación en el nuevo entorno del joven español migrante, en tanto que éste puede tender a verse y presentarse a sí mismo condicionado por cómo siente que lo ven en el país donde trata de establecerse (Goffman, 2001). La suma de todos estos factores puede generar una espanofilia extrema, una nostalgia y deseo de retornar a España que sólo es frenado por la crisis económica que atraviesa el país: “Me gustaría volver a España, llevo ya muchos años aquí y parece que esta

etapa se tiene que acabar, pero me frena la crisis, la situación de España, el miedo a la inestabilidad, por eso prefiero esperar y posponer mi vuelta” (E3: 25 años, Suiza, 10 de noviembre, 2013).

Proceso de aculturación: refuerzo de la espanofobia o mutación a una nueva identidad híbrida

El proceso de resistencia y superación, de las barreras propias del inicio migratorio, conlleva a una gradual asimilación al espacio geográfico y social de la sociedad de destino. Ello implica una modificación de los referentes territoriales y culturales que sustentan la propia identidad, la cual se reconfigura y relocaliza en ese nuevo espacio; es decir, experimenta una especie de reterritorialización (Calderón y Szmukler, 2000; Merino, 2008; Entrena-Durán, 2012). Este proceso puede llegar a su punto álgido una vez que el emigrado ha pasado una larga etapa (6 a 7 años), en la sociedad receptora. Tal periodo de tiempo supone una fuerte desadaptación a la cultura y forma de vida españolas, de tal manera que, cuando el emigrado retorna ocasionalmente, se siente fuera de sitio y no encuentra su lugar: “Una etapa de 2 o 3 años en un país extranjero es fundamental, es buenísimo para cualquier persona, aprendes un idioma, te abres, conoces otra gente, conoces otra cultura, pero lo que pasa es que también llega un momento que cuando ya pasas de los 6 o 7 años..., ya te desadaptas al modelo español de vida, y cuando vuelves a España no te encuentras cómodo tampoco, entonces también hay un momento en el que hay que saber volver a España” (E1: 35 años, Tashkent, Uzbekistán, 3 de noviembre, 2013); “Al volver a España me siento rara, perdida, fuera de lugar, como si fuera una turista o una inmigrante dentro de mi propio país. Todo se me hace raro y desconocido, me siento como una alemana que visita España” (E13: 25 años, Friburgo, Alemania, 13 de marzo, 2014). Este comportamiento de los jóvenes españoles guarda una estrecha relación con el manifestado por los jóvenes migrantes que retornan a la localidad de Atencingo en Puebla (México). En ambos casos, la pérdida o debilitamiento de la red social del migrante que retorna ha sido reportada como una de las causas que dificultan la reinserción del joven migrante en

la sociedad a la que trata de volver (Espinosa-Márquez y González-Ramírez, 2016).

En el proceso de aculturación se puede acabar desarrollando una identidad híbrida, cuya formación no depende únicamente del dilema de pertenencia subyacente al binomio origen-destino, sino también de la multitud de espacios en los que interactúa el migrante (relación con la familia y los amigos de España, a través de internet, con migrantes de otros países, con personas del país receptor, entre otros). Todo esto contribuye a que el migrante transite hacia una nueva identidad, cuyo grado de integración en la sociedad receptora contrasta claramente con el de la identidad españolística. En ésta, ante la frustración y el choque con la nueva realidad, el emigrante tiende a replegarse en una supuesta mis-midad e identidad originarias, a las cuales acaba por idealizar y mixtificar.

A diferencia de lo anterior, el inmigrante que ha adquirido la referida identidad híbrida no se siente anclado a un único territorio, sino que se percibe a sí mismo, algo así como perteneciente a todas partes; en suma, participa de esa especie de cosmopolitismo, que conlleva la adquisición de identidades globales, un tanto desterritorializadas (Granado, 2012; Peña, 2012). Unas identidades que, por lo tanto, se caracterizan por la pérdida de la relación ‘natural’ de la cultura que las sustenta con determinados territorios geográficos y sociales (Appadurai, 1996; Tomlinson, 1999; García-Canclini, 2001). Por ello, conceptualmente, hablar de desterritorialización conlleva también hablar de aquellas tendencias, derivadas de la globalización, que tienden a diluir la relación existente entre cultura y territorio que tradicionalmente ha sido inherente a la idea del Estado-nación. Todo ello está en la base de la formación de esas identidades desarraigadas de su territorio de origen (o sea, desterritorializadas), a las que se ha hecho referencia antes, manifestaciones de las cuales se muestran en los comentarios siguientes de algunos de los entrevistados: “Reino Unido es un lugar muy cosmopolita, conoces a gente de Francia, Alemania, Italia, muchos españoles (...). Eso te hace desarrollar

una identidad y una forma de ver las cosas muy diferente, te conviertes en algo menos español y más mundial, más multicultural, es algo difícil de explicar” (E5: 32 años, Edimburgo, Escocia, 17 de noviembre, 2013); “Muchas veces me preguntan que de dónde soy, y a veces le contesto a la gente que del mundo, porque, tampoco tengo como una, que no estoy ahí como enraizada en un sitio, no sé cómo explicarlo” (E13: 25 años, Friburgo, Alemania, 13 de marzo, 2014).

Así, aparece una nueva identidad del migrante, caracterizada por una desterritorialización (física e incluso mental) y por la construcción de un imaginario, según el cual se autopercibe a sí mismo como perteneciente simultáneamente a dos mundos: el de su propia sociedad de origen y el nuevo mundo de acogida, más abierto y cosmopolita, el cual ofrece infinidad de espacios sociales diferentes con los que identificarse. Esto genera, a veces, incertidumbres y crisis de identidad: “Llega un momento que no sabes quién eres, no sabes a qué lugar perteneces, cuál es tu sitio (...). Estás entre el aquí y el allí, sin saber que pasará y dónde estarás mañana” (E10: 31 años, Helsinki, Finlandia, 17 de diciembre, 2013). Se manifiesta en estas palabras un sentimiento de desarraigo, de no pertenecer a ningún sitio. Ello constituye una situación muy propicia para el desarrollo de sensaciones de anomia y/o de falta de referentes claros a los que aferrarse. No obstante, en los casos en que esta situación se supera de una forma que podría ser tipificada como ‘exitosa’, es cuando se afianzan más las actitudes y las identidades de índole cosmopolita. Otro aspecto de la identidad de este tipo de migrante es el ‘vivir a corto plazo’. El hecho de dejar atrás un entorno social ya construido (familia, amigos, hogar...) y la antedicha falta de referentes claros de identificación, le incita a no tener un proyecto de vida definido (dudas ante el retorno o la reinmigración), por lo que tiende a actuar según una visión cortoplacista: “Cuando emigras aprendes a no tener proyectos a largo plazo, tu vida gira en torno a la incertidumbre, no sabes cuánto tiempo estarás fuera, si volverás o no, cuándo volverás, no puedes pensar en el largo plazo, aprendes a vivir el

día a día” (E12: 28 años, Londres, Reino Unido, 9 de marzo, 2014).

No se puede afirmar que el proceso de aculturación genere inevitablemente la antes referida cosmopolita y más o menos desterritorializada identidad del migrante, ya que ciertos hechos pueden provocar una asimilación a la sociedad de destino, a la vez que tiene lugar el fortalecimiento de una identidad españolófoba. Esto puede ocurrir cuando, tras la emigración, tiene lugar una excepcional mejora de la situación socioeconómica y personal (en comparación con los demás españoles emigrados), lo que provoca que algunos emigrados traten de distanciarse de su origen y de sus compatriotas, en vista de la desfavorable posición de muchos de los otros inmigrantes españoles en la jerarquía social de la sociedad receptora (Veredas, 1999; Martín, 2004): “Yo no me considero española, no me gustan los españoles que hay por aquí, son unos vagos, se conforman con poco, solo saben juntarse entre ellos. Yo tengo un puesto más alto, no he venido aquí a fregar platos como los demás, yo soy más británica, más de aquí” (E2: 31 años, Southampton, Reino Unido, 7 de noviembre, 2013). En este último discurso se percibe una estrategia similar a la del ‘síndrome del nuevo rico’ (Veredas, 1999); es decir, cuando el inmigrante cualificado ha conseguido en el extranjero una posición social acorde a su preparación, se produce un cambio en su sistema de referencias valorativas en cuanto a la autopercepción, enfatizando la clase social y la posición laboral alcanzada, a la vez que manifestando ideas y/o actitudes que rayan ese ‘fervor’ característico, con el que muchos conversos rechazan sus identidades originarias y se aferran de manera casi fundamentalista a su nueva situación socioeconómica y cultural. En consonancia con ello, estos migrantes terminan modificando su percepción del país de origen e interiorizando el rol de ‘talentos perdidos’ para ese país, al que responsabilizan de ello: “La verdad es que España está desaprovechando a sus jóvenes, somos personas muy preparadas que estamos trabajando para otros países, es una pérdida de capital y un rechazo a unos jóvenes muy preparados” (E10: 31 años, Helsinki, Finlandia, 17 de diciembre, 2013).

Sin embargo, lo que sí comparten ambas identidades (la españolófoba y la aquí definida como una nueva identidad híbrida del migrante), es que tienden a afianzarse después de un largo periodo del migrante en la sociedad receptora; sobre todo, cuando ello acaba propiciando un proceso de aculturación, lo que anula prácticamente la posibilidad de retorno en los discursos contruidos por los migrantes que participan de esas dos identidades: “Cuando pasas mucho tiempo fuera te desadaptas, si te estás cinco o seis años en otro lugar, ya te cuesta volver, te olvidas de tu país, de su ritmo de vida, te sientes un extraño a la vuelta, entonces comprendes que puede que ya no haya retorno” (E1: 35 años, Tashkent, Uzbekistán, 13 de marzo, 2013).

La superación de las barreras propias del inicio migratorio y del choque cultural, tras la llegada a destino, acaban dando paso a un proceso de asimilación a la sociedad receptora que suele conllevar que la migración adquiera el carácter de no retorno.

CONCLUSIONES

Los jóvenes universitarios, que se ven impelidos a emigrar, no cuentan con dos requisitos esenciales para asegurar su paso a la condición de adultos: un proyecto vital propio y un empleo duradero que les permita llevarlo a cabo. De ahí, que estos dos factores sean las causas principales que originan las migraciones cualificadas. A lo largo de su proceso migratorio, los jóvenes se enfrentan a diversos escenarios que inciden sobre sus estrategias de adaptación, sus identidades y los discursos que sustentan las mismas. La identidad españolófoba puede comenzar a ser redefinida tras experimentarse la toma de contacto del emigrado con la cultura diferente de la nueva sociedad, lo que se debe, principalmente, a las dificultades para superar las barreras migratorias (idioma, choque cultural, discriminación, entre otras) y a la pérdida de los vínculos relacionales y los referentes sociales de tipo primario (en particular, con sus amistades y familiares). Ello provoca en el emigrado una reorientación de su identidad hacia la espanofilia, como manifestación de su nostalgia y consiguiente búsqueda de

un entorno social inmediato de algún modo similar al que se dejó atrás. La manera en que se encaran y superan o no estos obstáculos es clave en la reconstrucción de la identidad del migrante y en la posibilidad o no de su retorno. La no superación implicaría una posición española extrema que incrementaría la posibilidad de retorno, mientras que la superación daría lugar a un proceso gradual de aculturación. Este proceso comenzaría tras una etapa más o menos larga en el país de llegada, lo que conllevaría un progresivo distanciamiento de la cultura española, pudiéndose generar, ya sea una especie de sensación de desconcierto o anomia, motivada por la gran diversidad de escenarios y marcos sociales con que puede encontrarse el emigrado a una gran ciudad, o bien una identidad híbrida entre la de la sociedad de origen y la de destino, o incluso se llega a producir la asimilación a la cultura receptora o la constitución de una identidad más abierta y cosmopolita. De todos modos, en la etapa de aculturación, la identidad puede ser redefinida en función del mayor o menor grado de integración alcanzado en la sociedad

receptora, así como del prestigio social de ello derivado. Por ejemplo, conseguir un empleo acorde con el nivel de cualificación de la persona emigrada y con un salario elevado (persona que de esta forma ve cumplidas sus expectativas migratorias) podría tender a afianzar una identidad españolófoba como forma de defensa de la nueva posición social lograda, y como un modo de identificarse (asimilarse) con la nueva cultura de acogida. Sea como fuere, no se debe olvidar que las antedichas españolofobia, españolofilia o la mutación hacia una nueva identidad híbrida, son sólo distintos 'tipos ideales' (en el sentido weberiano) de configuración de las identidades de los emigrados. En cualquier caso, los referidos tipos de identidad, así como los respectivos discursos que las sustentan, no son realidades esenciales o estáticas claramente identificables en determinados tiempos y lugares del proceso migratorio, sino que han de ser vistos sólo como meros referentes o prototipos contruidos aquí con el fin de analizar cómo se forman y evolucionan las identidades de los emigrados a lo largo de dicho proceso.

REFERENCIAS

- Adecco (2010). La crisis obliga a más de 110 000 españoles a expatriarse en busca de un nuevo trabajo. [En línea]. Disponible en: http://www.adecco.es/_data/NotasPrensa/pdf/225.pdf. Fecha de consulta: 1 de agosto de 2015.
- Álvarez, L. M. (2012). Situación laboral de las mujeres inmigrantes en España. *Cuadernos de relaciones laborales*. 30(1): 91-113.
- Appadurai, A. (1996). *Modernity at Large: Cultural Dimensions of Globalization*. Minneapolis: University of Minnesota Press. 229 Pp.
- Bertaux, D. (2005). *Los relatos de vida. Perspectiva etnosociológica*. Barcelona: Ediciones Bellaterra. 143 Pp.
- Brazier, M. (2012). *Global Mobility Survey Report 2012: Exploring the Changing Nature of International Mobility*. London: Technical report, Commissioned by the Santa Fe Group and undertaken by Circle Research. 35 Pp.
- Calderón, G. F. y Szmukler, B. A. (2000). Aspectos Culturales de la Migraciones en el Mercosur, en *Gestión de las transformaciones Sociales – MOST*, en *Documentos de debate*, N° 31. [En línea]. Disponible en: <http://www.unesco.org/most/calderon.htm>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2015.
- CIS, Centro de Investigaciones Sociológicas (2012). Estudio n° 2.932. [En línea]. Disponible en: <http://www.cis.es/cis/open/cm/ES/1encuestas/estudios/ver.jsp?estudio=12564>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2015.
- De-Marco, S. y Sorando, D. (2015). Juventud necesaria: consecuencias económicas y sociales de la situación del colectivo joven, en *Juventud Necesaria*. [En línea]. Disponible en: <http://adolescenciayjuventud.org/referencias-bibliograficas/print.php?id=4696>. Fecha de consulta: 4 de agosto de 2016.
- Domingo, A. y Blanes, A. (2016). La nueva emigración española: ¿una generación perdida?. *Panorama Social*. 23: 157-178.
- Entrena-Durán, F. (2012). Migraciones globales y reterritorialización de los espacios locales: una aproximación tridimensional. *Papeles de población*. 18(72): 9-38.
- Espinosa-Márquez, A. y González-Ramírez, M. (2016). La adaptación social de los migrantes de retorno de la localidad de Atencingo, Puebla, México. *CienciaUAT*. 11(1): 49-64.
- EUROSTAT, Statistical Office of the European Communities (2015). Emigration by country of next usual residence. [En línea]. Disponible en: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Migration_and_migrant_population_statistics. Fecha de consulta: 24 de octubre de 2016.
- Flórez-Estrada, L., García-Santacruz, M. J., Moldes-Farelo,

- R. y Gómez-Sota, F. (2015). *¿Por qué te vas?: Jóvenes españoles en Alemania*. Madrid: Catarata. 144 Pp.
- García, J. (2009). La inserción laboral de los universitarios y el fenómeno de la sobrecualificación en España. *Preparado para el número especial de Papeles de Economía Española sobre educación en España*. [En línea]. Disponible en: <http://84.89.132.1/~montalvo/wp/ARTICULO%20PEE08rev.pdf>. Fecha de consulta: 24 de octubre de 2016.
- García-Canclini, N. (2001). *Culturas híbridas. Estrategias para entrar y salir de la modernidad*. Buenos Aires: Paidós. 349 Pp.
- Goffman, E. (2001). *La presentación de la persona en la vida cotidiana*. Buenos Aires: Amorrortu. 273 Pp.
- González-Enríquez, C. (2012). La emigración desde España, una migración de retorno, en *Revista ARI*. [En línea]. Disponible en: http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/ari4-2012. Fecha de consulta: 6 de agosto de 2015.
- González-Ferrer, A. (2013). La nueva emigración española. Lo que sabemos y lo que no. *Zoom Político*. (18): 1-20.
- Granado, V. (2012). ¿Derecho de fuga?. Derecho de migración y nacionalidad cosmopolita. *ARBOR Ciencia, pensamiento y cultura*. 188(755): 489-502.
- INE, Instituto Nacional de Estadística de España (2015). Estadística de variaciones residenciales. Bajas por país de destino y edad. [En línea]. Disponible en: http://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t20/p307/a2015/10/&file=a2_30.px&L=0. Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2016.
- Lasheras, R. y Pérez, B. (2014). Jóvenes, vulnerabilidades y exclusión social: impacto de la crisis y debilidades del sistema de protección social. *Zerbitzuan: Revista de servicios sociales*. (57): 137-157.
- Ley de la Memoria Histórica (2007). Boletín Oficial del Estado. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2007/12/27/pdfs/A53410-53416.pdf>. Fecha de consulta: 1 de agosto de 2016.
- Martín, J. (2004). Crisis identitarias y transformaciones de la subjetividad. En M. C. Laverde, G. Daza y M. Zuleta (Eds.), *Debates sobre el sujeto. Perspectivas contemporáneas* (pp. 33-46). Bogotá: Siglo del hombre.
- Martínez, J. S. (2013). *Sobrecualificación de los titulados universitarios y movilidad social*. Vol. II del informe del Programa Internacional para la Evaluación de las Competencias de la Población Adulta. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deportes. 23 Pp.
- Merino, H. (2008). Glocalización: ¿dónde queda la dimensión nacional del proceso de reterritorialización cultural de los inmigrantes?, en *Gazeta Internacia de Antropologio*. [En línea]. Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/viewbibliuned>: 500383 -Articulos-5770. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2015.
- Navarrete-Moreno, L., Cuenca-García, C., Díaz-Catalán, C., Díaz-Chorne, L. y Zúñiga, R. (2014). *La emigración de los jóvenes españoles en el contexto de la crisis: Análisis y datos de un fenómeno difícil de cuantificar*. Madrid: INJUVE-Observatorio de la Juventud en España. 247 Pp.
- Navarro, D. (2007). El paro juvenil. *Escritura pública*. 48: 6-15.
- Orozco, A. (2013). Migración y estrés aculturativo: una perspectiva teórica sobre aspectos psicológicos y sociales presentes en los migrantes latinos en Estados Unidos. *Norteamérica*. 8(1): 7-44.
- Peña, J. (2012). Migraciones y apertura cosmopolita de la ciudadanía. *ARBOR Ciencia, pensamiento y cultura*. 188(755): 529-542.
- Pochmann, M. (2011). La fuga de cerebros y la nueva división internacional del trabajo. *Nueva Sociedad*. 233: 98-113.
- Rebossio, A. (2012). “Unos 446.000 descendientes de españoles han solicitado la nacionalidad”, en *el diario El País*, en la sección “Política”. [En línea]. Disponible en: http://politica.elpais.com/politica/2012/01/02/actualidad/1325519010_191178.html. Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2016.
- Requena, M. y Sánchez-Domínguez, M. (2011). Las familias inmigrantes en España. *Revista Internacional de Sociología*. 69(1): 79-104.
- Reyes, M. (2011). La desterritorialización como forma de abordar el concepto de frontera y la identidad en la migración. *Revista Geográfica de América Central*. 2: 1-13.
- Ruiz, J. (2007). Fuga de cerebros. El caso de la investigación científica en economía. *Transatlántica de educación*. 3: 82-87.
- Santos, A. (2013). Fuga de cerebros y crisis en España: los jóvenes en el punto de mira de los discursos empresariales. *Revista Internacional de Ciencias Sociales*. (32): 125-137.
- Sanj, J. y Mateos, O. (2014). ¿No es país para jóvenes?. Juventud, indignación y cambio social en el contexto post-15M. *Iglesia Viva*. (258): 29-52.
- Sassen, S. (2007). *Una sociología de la globalización*. Buenos Aires: Katz Editores. 323 Pp.
- Standing, G. (2013). *El precariado. Una nueva clase social*. Barcelona: Ediciones de pasado y presente, SL. 300 Pp.
- Tomlinson, J. (1999). *Globalization and Culture*. Cambridge: Polity Press. 248 Pp.
- Torres, F. (2014). Crisis y estrategias de los inmigrantes en España: el acento latino. *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*. 106 (7): 215-236.
- Trinidad, A., Carrero, V. y Soriano, R. (2012). *Teoría Fundamentada Grounded Theory. El desarrollo de teoría desde la generalización conceptual*. Madrid: Cuadernos Metodológicos. 192 Pp.
- Veredas, S. (1999). Procesos de construcción de identidad entre la población inmigrante. *Papers*. (57): 113-129.
- Villar, A. (2014). No es País para Jóvenes. *Panorama Social*. (20): 53-69.



Tomado de: <https://pixabay.com/es/de-fondo-biomasa-de-cultivos-corte-70997/>

Evaluación de levaduras nativas productoras de etanol presentes en el bagazo de caña de azúcar

Evaluation of producing ethanol native yeasts present in sugar cane bagasse

Adrián González-Leos

José Alfredo Del Angel-Del Angel

José Luis González-Castillo

Nadia Rodríguez-Durán

Guadalupe Bustos-Vázquez*

Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Mante, Blvd. Enrique Cárdenas González núm. 1201, col. Jardín, Ciudad Mante, Tamaulipas, México, C.P. 89840.

***Autor para correspondencia:**

gbustos@uat.edu.mx

Fecha de recepción:

13 de enero de 2016

Fecha de aceptación:

17 de octubre de 2016

RESUMEN

La hidrólisis química o enzimática del bagazo de caña de azúcar permite la obtención de azúcares fermentables, utilizados en la producción biotecnológica de etanol, mediante el empleo de levaduras comerciales o autóctonas obtenidas de diferentes materiales lignocelulósicos. El objetivo de este trabajo fue valorar la capacidad de producción de etanol de cepas de levaduras nativas, aisladas en medio YPD e hidrolizado de bagazo de caña de azúcar, concentrado hasta un 75 %. Utilizando como variables de estudio el tipo de cepa y el tiempo de proceso, se realizó un análisis multifactorial (ANOVA) para su evaluación.

Los resultados obtenidos con la cepa seleccionada UAT-3, fueron para $Y_{P/S}$ de 0.441 7 g/g y Q_P de 0.076 7 g/L·h a las 120 h. Las condiciones de proceso utilizadas en el presente estudio permitieron aislar y seleccionar cepas nativas de *Saccharomyces cerevisiae*, con características adecuadas para ser utilizadas en procesos biotecnológicos industriales de producción de etanol, utilizando como sustrato residuos o subproductos derivados de la industria azucarera como el bagazo de caña de azúcar.

PALABRAS CLAVE: levaduras nativas, etanol, bagazo de caña de azúcar, hidrolizado hemielulósico.

ABSTRACT

The chemical or enzymatic hydrolysis of sugar cane bagasse, allows the obtaining of fermentable sugars used in the biotechnological production of ethanol by using commercial or native yeasts obtained from different lignocellulosic materials. The purpose of this study was to assess the production capacity of ethanol from a native yeast strain isolated in YPD and hydrolyzed sugar cane bagasse concentrated up to 75 %. Using as study variables the type of strain and processing time, a multivariate analysis (ANOVA) was performed for its evaluation. The results achieved with the selected strain UAT-3, were 0.441 $\pm$ 7 g/g for $Y_{P/S}$ and 0.076 $\pm$ 7 g/L.h to 120 h for Q_P . The process conditions used in the present study allowed to isolate and select native strains of *Saccharomyces cerevisiae*, with characteristics suitable to be used in industrial biotechnological processes of ethanol production, using as substrate residues or by-products derived from the sugar industry such as bagasse of sugar.

KEYWORDS: native yeasts, ethanol, sugar cane bagasse, hemicelulosic hydrolyzate.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico demanda un elevado consumo de los diferentes recursos energéticos, por lo que se pronostica un aumento en su costo y su probable escasez en el mediano plazo. Un problema adicional es que los combustibles fósiles han sido asociados con los problemas de contaminación actuales (Carreón-Rodríguez y col., 2009; Saha y col., 2014). Ante esto, se hace necesario encontrar soluciones a la demanda de combustible con reducido impacto ambiental, por ejemplo, energía mareomotriz, hidroeléctrica, geotérmica, solar, eólica y biocombustibles, como el bioetanol obtenido a partir de materiales celulósicos (Suleiman, 2010; Sahay col., 2014).

Existe gran interés en aprovechar los materiales lignocelulósicos que se descartan en los procesos agrícolas y forestales, para transformarlos, a través de hidrólisis química o enzi-

mática, en azúcares fermentables que puedan ser convertidos por diversos microorganismos en metabolitos de interés comercial (Field y col., 2015). La hidrólisis química o enzimática del material lignocelulósico proveniente de residuos de cosecha, como bagazos, sobrantes forestales, pajas o cascarillas, permite su conversión en etanol, que se utiliza como combustible, pero también puede aprovecharse en la obtención de diversos productos químicos (Aguiar-Rivera, 2007; 2011; 2013). El bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es un material lignocelulósico ampliamente utilizado para la producción de etanol en diferentes países, como Cuba, Brasil y Estados Unidos, entre otros, sin afectar la producción de alimentos (Fernández y col., 2009).

El etanol fue empleado inicialmente solo para la producción de bebidas alcohólicas, vinagres y conservas, pero actualmente es aplicado a la industria de fármacos, perfumes y cosméticos; en la fabricación de colorantes, materiales explosivos, seda artificial y materiales plásticos (Brooks, 2008). Sin embargo, debido a que el etanol es una fuente neta de energía, fácilmente almacenable, con alto contenido de oxígeno (35 %) y combustión limpia, se le considera de gran aplicación potencial como combustible (Agüero-Rodríguez y col., 2015), siendo utilizado como alternativa para la oxigenación y aumento de octanaje de la gasolina o como aditivo de la misma y como insumo para la producción de biodiésel (Carreón-Rodríguez y col., 2009).

La producción de etanol empleando diferentes levaduras y utilizando bagazo de caña de azúcar como sustrato, se considera una excelente opción industrial por la amplia disponibilidad de esta materia prima. Las levaduras más ampliamente utilizadas desde hace siglos, pertenecen al género *Saccharomyces* sp., por su capacidad de convertir rápidamente los azúcares a etanol, además de presentar una amplia aceptación en los procesos industriales (Ingram y Buttke, 1985). Se han realizado investigaciones para obtener microorganismos ca-

paces de producir etanol eficientemente, a partir de diferentes hexosas y pentosas provenientes de la hidrólisis química o enzimática de los materiales lignocelulósicos (Huerta-Beristain y col., 2008; Chandel y col., 2011).

En el proceso de producción artesanal de etanol, a partir de caña de azúcar, participan microorganismos nativos de la caña, entre los que destacan levaduras de *Saccharomyces* sp., *Torula* sp. y *Pichia* sp. Sin embargo, en el proceso industrial de obtención de etanol, particularmente para fines carburantes, no es deseable tener la permanencia de linajes diferentes a *Saccharomyces* sp., debido a los requerimientos de alto rendimiento necesarios para alcanzar la rentabilidad económica (Pataro y col., 2000; Schwan y col., 2001). En estos procesos se utilizan inóculos de cepas puras de *Saccharomyces cerevisiae*, para sustituir las levaduras nativas de la caña y tener un mejor control de la fermentación (Carreón-Rodríguez y col., 2009). Es por ello, que regularmente se aíslan levaduras de diversas fuentes naturales, para evaluar su capacidad fermentativa, tolerancia al alcohol y la presión osmótica, habilidad para usar la maltosa o el almidón como sustrato (Yeon-Ju y col., 2011). Los bagazos de caña de azúcar, melazas, mostos para pulques, mezcales, tequilas y otras destilerías pueden ser empleadas como fuentes para la búsqueda, selección y evaluación de cepas de interés en la producción biotecnológica de etanol (Lappe-Oliveras y col., 2008). La actividad killer, que es la capacidad de liberar toxinas que matan a otros microorganismos presente en el medio, es una característica deseable para algunos autores, ya que da una ventaja durante la producción de etanol (Magliani y col., 1997; Marquina y col., 2002; Nally y col., 2005).

Ceccato-Antonini y col. (2004) y Ortiz-Zamora y col. (2009), evaluaron la resistencia de diferentes levaduras a altas concentraciones de sustratos y productos. Actualmente se estudian algunas bacterias, como *Zymomonas mobilis* sp., debido a que son capaces de trans-

formar la glucosa en etanol, con rendimientos del 5 % al 10 %, los cuales son más altos que los rendimientos obtenidos por la mayoría de las levaduras (García, 1998; Mielenz, 2001), aunque presentan algunas desventajas, como su baja tolerancia al alcohol y su tamaño pequeño, lo cual hace difícil su separación, al momento de recuperar el etanol (Ingram y Buttke, 1985). También existe la posibilidad de buscar nuevos microorganismos productores de etanol en ambientes extremos (Oliart-Ros y col., 2016).

El objetivo del presente estudio fue determinar la capacidad de producción de etanol de diferentes cepas de levadura nativas aisladas en medio YPD e hidrolizado de bagazo de caña concentrado hasta un 75 %.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

El bagazo de caña de azúcar fue proporcionado por el Ingenio Aarón Sáenz Garza de Ciudad Mante, Tamaulipas, México, el cual fue sometido a un proceso de secado, molienda y tamizado; posteriormente, fue almacenado en recipientes cerrados para evitar fluctuaciones de humedad.

Análisis del bagazo

Una alícuota de bagazo de caña fue sometida a secado en estufa (FELISA Mod. FE-291, Jalisco, México) a 105 °C, para determinar la humedad, y en mufla (Thermo Lyne 600, Modelo F6018, EUA) durante 2 ciclos de 3 h cada uno, a 550 °C para calcular el % de cenizas. La muestra seca se sometió a una hidrólisis ácida cuantitativa en dos etapas de tratamiento ácido para calcular su composición química. La primera etapa se realizó con ácido sulfúrico al 72 % a 30 °C por 1 h; la segunda etapa consistió en diluir el medio hasta alcanzar 3 % de concentración de ácido sulfúrico y se calentó a 121 °C por 1 h. El residuo sólido después de la hidrólisis fue considerado como lignina de Klason. Se analizaron el jarabe obtenido en la hidrólisis y el concentrado. Se realizó un análisis cromatográfico (Cromatógrafo marca Waters Mod. 2695, Milford, EUA), para cuanti-

ficar azúcares simples, filtrando las muestras con una membrana de $0.45\mu\text{m}$ y usando un flujo de 0.5 mL/min^{-1} , columna ion-exclusión $50\mu\text{m}$ a $7\mu\text{m}$, $7.8\text{ mm} \times 300\text{ mm}$, $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, detector de IR (índice de refracción) a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, fase móvil H_2SO_4 al 0.01 N para conocer la concentración de azúcares (glucosa, xilosa, arabinosa y ácido acético). Posteriormente, se hizo un análisis espectrofotométrico para medir la concentración de inhibidores como el furfural y 5-hidroximetilfurfural, usando un espectrofotómetro UV-Vis (Perkin Elmer Mod. Lambda 35 Shelton, EUA), midiendo la absorbancia en longitudes de onda de 230 nm y 260 nm para su cuantificación.

Obtención de hidrolizados

El bagazo de caña fue tratado con ácido sulfúrico al 2% a $122\text{ }^{\circ}\text{C}$, y un tiempo de reacción de 60 min , en una relación $1:8$, siguiendo el procedimiento descrito por Aguilar y col. (2002). El hidrolizado hemicelulósico obtenido fue separado del material fibroso por filtración y concentrado al vacío a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un rotoevaporador (Rotary evaporator Mod. H5-2001NS, Nae-dong, Korea del Sur), para aumentar la concentración de azúcares fermentables, principalmente la glucosa. El hidrolizado se redujo hasta un 75% de su volumen inicial, ajustando el pH inicial de 0.76 hasta 5.3 con la adición de CaCO_3 .

Selección y mantenimiento de células

Se aislaron 15 cepas de levadura nativas, productoras de etanol, presentes en bagazo de caña de azúcar y se realizaron fermentaciones, como principal prueba fisiológica utilizada en la identificación de levaduras productoras de etanol, de acuerdo a Orberá (2004). Las cepas seleccionadas (UAT-3, UAT-5, UAT-6, UAT-7, UAT-8, UAT-9, UAT-10, UAT-11, UAT-20, UAT-23 y UAT-24), por su capacidad productora de etanol, fueron mantenidas en glicerol (crioprotector) a una temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las cepas se reactivaron utilizando la técnica de estrías en tubo inclinado, en medio nutritivo sintético YPD (glucosa 20 g/L , peptona

20 g/L y extracto de levadura 10 g/L , agar 20 g/L). Después de las 48 h de incubación, se etiquetaron y conservaron en refrigeración ($4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$). La productividad de las cepas se evaluó usando un medio de cultivo YPD que contenía 20 g/L de glucosa, 20 g/L de peptona y 10 g/L de extracto de levadura, en matraces de 250 mL estériles, con un volumen total de 120 mL de medio, incubados a $29\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$, a una velocidad de agitación de 100 revoluciones por minuto (rpm) por 48 h . Se tomaron muestras cada 12 h , determinando en cada una: 1) Biomasa producida, determinada por peso seco celular; 2) Recuento directo de células totales utilizando una cámara de Neubauer en microscopio óptico (Modelo Revelation III, marca LW Scientific, Lawrenceville, Georgia, EUA); 3) Consumo de sustrato, por determinación de grados Brix; 4) Consumo de sustrato (glucosa) y formación de productos (etanol y ácido acético), por Cromatografía Líquida de Alta eficacia (CLAE), usando una Columna de Intercambio iónico ION-300 (Fase móvil con H_2SO_4 al 0.01M ; flujo de 0.4 mL/min^{-1} ; IR y detección UV).

Evaluación de la cepa nativa seleccionada en medios con hidrolizado

La cepa de levadura seleccionada como la mejor productora de etanol (UAT-3), se evaluó en medios formulados con concentrado del hidrolizado de bagazo de caña de azúcar, conteniendo 65.42 g/L de xilosa, 20.40 g/L de glucosa y 7.83 g/L de arabinosa. El contenido de compuestos inhibidores en el medio fue de 3.47 g/L de ácido acético, 1.71 g/L de furfural y 1.24 g/L de 5-hidroximetilfurfural. Se comparó la producción de esta levadura en un medio de cultivo YPD que contenía 20 g/L de glucosa, 20 g/L de peptona y 10 g/L de extracto de levadura. Se realizó una cinética de producción durante 216 h . Se tomó muestra cada 24 h y se realizaron análisis de consumo de sustrato, formación de productos y biomasa producida; determinando la productividad volumétrica (Q_P) ($\text{g/L}\cdot\text{h}$), rendimiento en producto ($Y_{P/S}$) (g/g), y rendimiento en biomasa ($Y_{X/S}$) (g/g).

Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados utilizando los programas de Microsoft Excel 2007 y Statgraphics, versión 5.1. Para conocer el efecto de la composición del medio en los rendimientos de Y_P/S , Q_P , Y_X/S y del tiempo de la cinética de fermentación para cada una de las cepas, se realizó un ANOVA multifactorial con un nivel de confiabilidad del 95 %, evaluando los parámetros de rendimiento durante la fermentación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización química permitió establecer que el bagazo de caña de azúcar contenía 8.94 ± 0.07 % de humedad y 3.03 ± 0.1 % de cenizas. Pandey y col. (2000), mencionaron que el bajo contenido de cenizas del bagazo de caña le permite ser un mejor sustrato durante la fermentación, comparado con otros residuos lignocelulósicos como la paja de arroz o trigo.

La composición estructural del bagazo, obtenida mediante una hidrólisis ácida cuantitativa, para establecer el contenido de glucano, xilano, arabano y lignina, se muestra en la Tabla 1. Los valores obtenidos son cercanos a los valores teóricos reportados en la literatura por diferentes autores para caña de azúcar (Pandey y col., 2000; Ferrer y col., 2002; Bousarsar y col., 2009; Zumalacárregui-De-Cárdenas y col., 2015).

La hidrólisis ácida permite degradar el bagazo, obteniendo glucosa, que puede ser utilizada en procesos de fermentación etanólica con alto rendimiento (Guarnizo-Franco y col., 2009). En hidrolizados lignocelulósicos, la concentración de azúcares depende de las condiciones de hidrólisis utilizadas (Larsson y col., 1999; Palmqvist y Hahn-Hägerdal, 2000a). En este sentido, Chandler y col. (2012), mencionaron que se pueden obtener altas concentraciones de azúcares si se realiza hidrólisis en dos etapas, aplicando inicialmente temperaturas entre $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, seguido de un calentamiento entre $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, si en la primera etapa se utilizan rangos de $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ cambia el comportamiento, disminuyendo la cantidad de azúcares producidos. En el presente estudio, se obtuvo un alto contenido de carbohidratos con las condiciones de hidrólisis química empleadas, lo que puede ser aprovechado para transformar el bagazo de caña de azúcar en un medio fermentable, que puede ser convertido por fermentación microbiana en productos con alto valor agregado, como el etanol (Chandler y col., 2012).

La concentración del hidrolizado utilizada en este trabajo permitió incrementar el contenido de los azúcares fermentables: xilosa, glucosa y arabinosa (Tabla 2). Sin embargo, se con-

■ Tabla 1. Composición química del bagazo de caña de azúcar.

Table 1. Chemical composition of sugar cane bagasse.

Componentes	% Materia seca*
Glucano	42.94 ± 0.41
Xilano	23.54 ± 0.22
Arabano	1.98 ± 0.11
Lignina	24.97 ± 0.61
Otros componentes	9.194 ± 0.91

*Valor promedio de tres análisis y su desviación estándar.

■ **Tabla 2. Concentración de los componentes del hidrolizado de bagazo de caña de azúcar.**
Table 2. Concentration of components of hydrolyzate sugar cane bagasse.

Componentes		Hidrolizado*	
		Sin concentrar	Concentrado
Azúcares (g/L)	Xilosa	24.79 ± 0.12	65.42 ± 0.38
	Glucosa	6.65 ± 0.40	20.40 ± 0.66
	Arabinosa	2.50 ± 0.03	7.83 ± 0.48
Compuestos inhibidores (g/L)	Ácido acético	3.47 ± 0.04	10.21 ± 0.09
	Furfural	1.71 ± 0.01	4.88 ± 0.26
	Hidroximetilfurfural	1.24 ± 0.09	2.27 ± 0.20

*Valor promedio de tres análisis y su desviación estándar.

centraron también el ácido acético, el furfural y el hidroximetilfurfural, compuestos derivados del furano y que pueden actuar como inhibidores en el proceso de fermentación, afectando el crecimiento de las levaduras y el rendimiento en la producción de etanol (Oliva, 2003). En la Tabla 2 se observa que el ácido acético alcanzó valores de 10.21 g/L, concentración muy superior a los 3 g/L que ha sido reportada como suficiente para afectar el proceso de fermentación (Felipe y col., 1995). Zyl y col. (1991), utilizaron *Pichia stipitis* para producir etanol a partir de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña, y descubrieron que el grado de inhibición causado por el ácido acético no sólo dependía de su concentración, sino también de la concentración de oxígeno y pH del medio.

El furfural e hidroximetilfurfural alcanzaron concentraciones de 4.88 g/L y 2.27 g/L respectivamente. Estos compuestos fenólicos de bajo peso molecular son tóxicos y afectan el crecimiento celular (Purwadi y col., 2004). Se ha reportado que concentraciones de 0.25 g/L a 0.5 g/L de furfural no afectaron el crecimiento de *S. stipitis*; aunque concentraciones más

altas (1.5 g/L a 2 g/L) afectaron el crecimiento de la levadura y disminuyeron el rendimiento de etanol y la productividad (Nigam, 2001). Palmqvist y Hahn-Hägerdal (2000b), demostraron que el efecto inhibitorio de hidroximetilfurfural es similar al de furfural, causando de igual forma un retraso tardío en el crecimiento celular, sin embargo se considera menos tóxico al hidroximetilfurfural.

Por otra parte, es posible reducir el efecto que pudiera causar la presencia de compuestos inhibidores en el hidrolizado, aplicando un método de detoxificación que permita reducir su concentración a niveles más bajos de los requeridos para afectar el metabolismo de los microorganismos fermentadores de interés (Yong-Jin y col., 2011; Field y col., 2015).

Selección de la cepa nativa mayor productora de etanol

La capacidad productora de etanol de las levaduras varía entre géneros, especies e incluso entre cepas dentro de una misma especie. *S. cerevisiae* es la levadura más utilizada para la obtención de etanol, sin embargo, se ha reportado que las diferentes cepas varían en su ren-

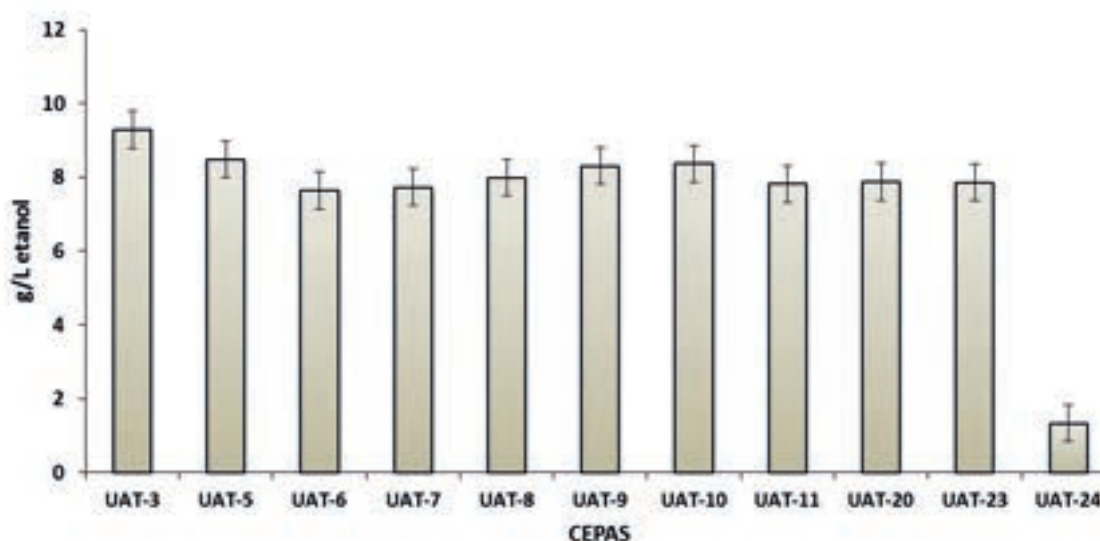
dimiento de etanol, dependiendo de las condiciones de proceso (Tuite y Oliver, 1991; Carballo, 2000). Entre los criterios de selección de las cepas destacan, su capacidad fermentativa, medida como producción de etanol, la tolerancia a la acidez, el consumo de azúcares y la buena productividad volumétrica de etanol. La capacidad fermentativa se ve influenciada por diferentes factores, como la temperatura, la concentración de azúcares, el pH, y algunas otras variables que influyen en el crecimiento de los microorganismos (Caridi, 2003).

En este estudio, las cepas de levadura nativas, aisladas previamente, fueron evaluadas en su capacidad productiva de etanol usando medio comercial YPD (Figura 1), determinando el rendimiento en producto ($Y_{P/S}$), el rendimiento de biomasa ($Y_{X/S}$) y la productividad volumétrica (Q_P) (Tabla 3). Las principales cepas productoras identificadas fueron UAT-3, UAT-5, UAT-9 y UAT-10 con 9.28 g/L, 8.4 g/L, 8.31 g/L y 8.37 g/L de etanol respectivamente (Figura 1). La cepa nativa UAT-3 fue seleccionada como la mejor productora de etanol, por presentar el valor más alto de rendimiento ($Y_{P/S}$) con 0.504 6 g/g, muy cercano al rendimiento teórico (0.51 g/g); y la mayor productividad vo-

lumétrica (Q_P) de 0.386 g/L·h (Tabla 3). Los resultados de esta cepa fueron mayores a los obtenidos en fermentaciones en fedbatch de hidrolizados enzimáticos no deslignificados de bagazos realizados por Albuquerque-Wanderley y col. (2013), lo que indica que es una cepa con buena capacidad de producción de etanol. Gómez-Ruiz y col. (2007), aislaron cepas de levaduras *S. cerevisiae* de la región productora de mezcal, reportando resultados de $Y_{P/S}$ de 0.068 0 g/g, biomasa (cel/mL) de $1.37E + 08$ y una Q_P de 0.136 5 g/L·h, valores inferiores a los presentados por la cepa UAT-3 de este estudio.

La cepa UAT-24 tuvo la menor productividad de etanol (1.34 g/L) (Figura 1) y los menores valores de rendimiento y productividad volumétrica (Tabla 3), pero presentó la mayor producción de biomasa (Tabla 3). Estos resultados indicaron que esta levadura destinó el consumo de azúcares al crecimiento celular, teniendo baja eficiencia fermentativa.

Las cepas productoras de etanol pueden ser aisladas de fuentes diversas a las exploradas en el presente estudio. Oviedo-Zumaqué y col. (2009), utilizaron excedentes de plátano para



■ Figura 1. Producción de etanol de cada cepa nativa en medios YPD.

Figure 1. Production of ethanol in each native strain in YPD media.

■ Tabla 3. Parámetros cinéticos y estequiométricos de producción de etanol en medios YPD utilizando levaduras nativas.

Table 3. Kinetic and stoichiometric parameters of ethanol production in YPD media using native yeasts.

CEPA	Y _{P/S} (g/g)*	Y _{X/S} (g/g)*	Q _P (g/L·h)*
UAT-3	0.505 ± 0.002	0.125 ± 0.005	0.387 ± 0.019
UAT-5	0.499 ± 0.052	0.022 ± 0.026	0.324 ± 0.076
UAT-6	0.429 ± 0.020	0.137 ± 0.055	0.336 ± 0.018
UAT-7	0.399 ± 0.020	0.214 ± 0.053	0.340 ± 0.028
UAT-8	0.455 ± 0.020	0.029 ± 0.004	0.363 ± 0.008
UAT-9	0.048 ± 0.016	0.130 ± 0.008	0.372 ± 0.003
UAT-10	0.451 ± 0.002	0.096 ± 0.013	0.369 ± 0.004
UAT-11	0.435 ± 0.023	0.060 ± 0.013	0.351 ± 0.031
UAT-20	0.432 ± 0.000	0.038 ± 0.007	0.348 ± 0.004
UAT-23	0.443 ± 0.005	0.051 ± 0.023	0.350 ± 0.003
UAT-24	0.165 ± 0.046	0.644 ± 0.640	0.015 ± 0.014

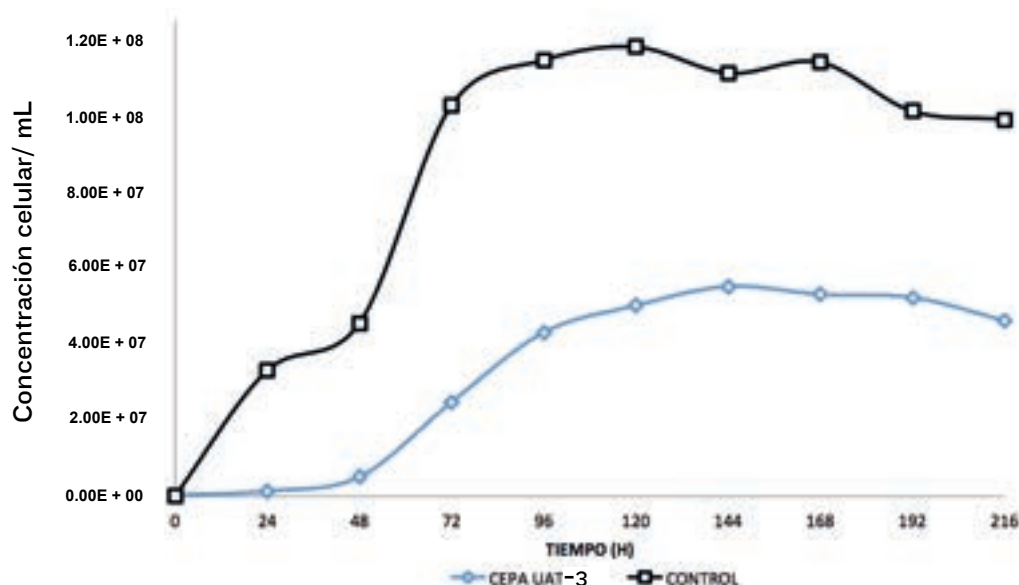
*Valor promedio de tres análisis y su desviación estándar.

Y_{P/S}, rendimiento g de etanol por g de glucosa; Y_{X/S}, rendimiento de biomasa; Q_P, productividad volumétrica.

darle un valor agregado a los residuos poscosecha, logrando una evaluación de cepas nativas con potencial en la producción de etanol. Joshi y col. (2005) y Mohanty y col. (2006), alcanzaron altas concentraciones usando células de *S. cerevisiae* en pulpa de piña, durazno y marañón, adicionando sales minerales. Por otra parte, se puede mejorar la productividad de las levaduras mediante su inmovilización, proceso que permite un mayor aprovechamiento del sustrato. Matiz y col. (2002), ensayaron con diferentes cepas nativas inmovilizadas a partir de *Z. mobilis* sp. utilizando el medio de fermentación sintético modificado en condiciones de microaerofilia, obteniendo mejores resultados que al utilizar células libres.

Cinética de fermentación utilizando la cepa seleccionada en hidrolizado de bagazo de caña de azúcar

En la Figura 2 se observa la cinética de crecimiento celular de la cepa nativa seleccionada UAT-3, tanto en el medio de cultivo YPD caldo (control), como en hidrolizado de caña de azúcar concentrado, enriquecido con 10 g/L de extracto de levadura y 20 g/L de Peptona, para determinar la producción de etanol y su capacidad de adaptación al medio con diversos inhibidores presentes en el hidrolizado, realizando una cinética de fermentación de 216 h y tomando muestra cada 24 h. El medio control presentó una concentración inicial de 20 g/L de glucosa. En tanto que la concentración ini-



■ Figura 2. Cinética de crecimiento de la cepa nativa UAT-3, en hidrolizado de bagazo de caña de azúcar y su control (Medio YPD).

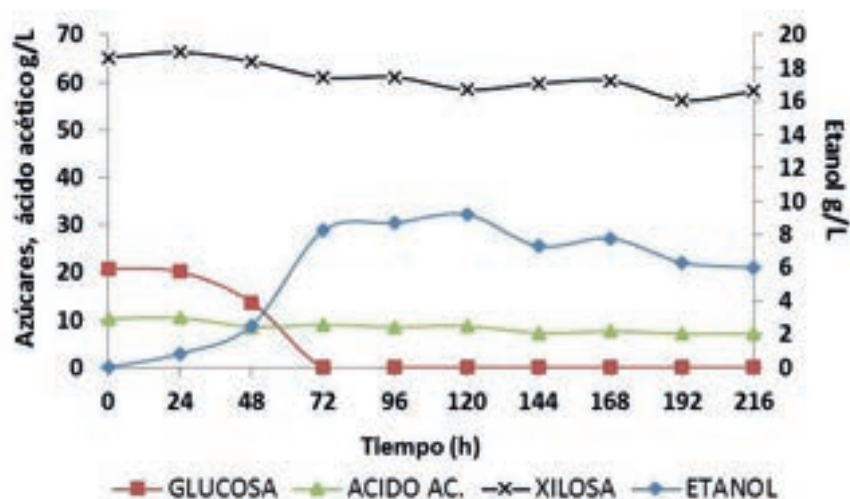
Figure 2. Cell concentration of the native strain UAT-3, in hydrolyzate sugar cane bagasse and control (YPD media).

cial de glucosa en el hidrolizado de bagazo de caña de azúcar fue de 20.40 g/L.

El crecimiento celular de la cepa nativa UAT-3 en el medio control fue mayor y alcanzó una concentración celular superior a $1.10E + 08$ a las 96 horas (Figura 2), en tanto que su crecimiento mostró una fuerte inhibición en el hidrolizado de bagazo de caña de azúcar durante las primeras 48 horas, provocado por una lenta adaptación al medio, lo que causó que se presentase una fase exponencial prolongada, obteniéndose una concentración celular máxima de $4.50E + 07$ a las 144 horas, debido a la presencia de sustancias inhibitoras liberadas tras el tratamiento ácido que se realizó en el bagazo de caña de azúcar. Aunque el crecimiento celular de la cepa UAT-3 fue afectado negativamente, Ortiz-Zamora y col. (2009), obtuvieron valores muy por de bajo de los obtenidos en este ensayo, en un tiempo de fermentación de 144 h, con cepas de levadura aisladas de fuentes naturales (melaza de caña de azúcar, jugo de uva, miel de caña, jugo de caña y piña), que fueron inhibidas por la concentración de azúcares en el medio. La inhibición de sustrato se hace muy significativa en rangos de 5 % p/v a

25 % p/v de azúcar, con una inhibición completa del crecimiento de 25 % p/v a 40 % p/v de glucosa, dependiendo de la cepa (Jones y col., 1981; Attfield y Ketsas, 2000; Malacrino y col., 2005).

En la Figura 3 se muestra la cinética de producción de etanol y consumo de azúcares de la cepa nativa UAT-3, en medio obtenido a partir del hidrolizado de caña. El incremento en la producción de etanol estuvo directamente asociado con la disminución en el contenido de glucosa, alcanzándose el valor máximo de producción etanólica y el agotamiento del carbohidrato a las 72 horas. Aunque existen cepas de levaduras capaces de producir etanol hemi-celulósico, al metabolizar la xilosa, además de glucosa (Antunes y col., 2014), la cepa seleccionada, no fue capaz de hidrolizar la D-xilosa presente en el medio, ni la L-arabinosa (datos no mostrados), ambos denominados azúcares residuales. Algunos investigadores han demostrado que los suplementos de urea pueden aumentar la producción de etanol, ya que la urea es un componente esencial en el crecimiento de la levadura (Lopes y Sola-Penna, 2001; Choi y col., 2009).



■ **Figura 3.** Cinética de producción de etanol y consumo de sustrato por la cepa nativa UAT-3 en hidrolizado de bagazo de caña de azúcar.

Figure 3. Kinetics of ethanol production and substrate consumption by the native strain UAT-3 in hydrolyzate sugar cane bagasse.

En la Tabla 4 se muestran los parámetros cinéticos de etanol obtenidos por la cepa nativa UAT-3, utilizando el hidrolizado de bagazo de caña de azúcar. A los 120 días se alcanzó el valor más alto de rendimiento de etanol ($Y_{P/S}$), que fue de 0.442 g de etanol/g de glucosa, que representa el 86 % del máximo rendimiento teórico (0.511 g/g); así como el máximo valor de productividad (Q_P), siendo de 0.077 (g/L·h). Los valores de productividad obtenidos por la cepa UAT-3 fueron superiores a los publicados por Fernández y col. (2009), quienes reportaron una productividad de 0.12 g/g y rendimiento de 0.19 g/L·h, empleando una cepa de *S. cerevisiae* nativa en hidrolizados ácidos de bagazo con una concentración inicial de 12.1 g/L de glucosa, 2.0 g/L de ácido acético, 0.8 g/L de furfural y 2.0 g/L de hidroximetilfurfural. Al utilizar dos cepas industriales en el mismo medio, la productividad máxima alcanzada fue de 0.06 g/g, 0.43 g/g, y el rendimiento máximo de 0.06 g/L·h, 0.46 g/L·h respectivamente. También existen estudios en los que se han aislado cepas de levaduras con capacidad de fermentación en ambientes severos, estableciendo las características de crecimiento en varios monosacáridos y evaluando su capacidad para

fermentar etanol a partir de glucosa, manosa, galactosa, fructosa y xilosa (Kodama y col., 2013). En este estudio se observó que la inhibición del rendimiento de etanol fue mayor a la productividad volumétrica, debido probablemente a que los inhibidores presentes en el hidrolizado impidieron una producción rápida de etanol durante las primeras horas, pero luego ocurrió un proceso de adaptación de la cepa UAT-3, lo que permitió incrementar el rendimiento de etanol.

CONCLUSIONES

Las condiciones utilizadas en el presente estudio, para la hidrólisis química del bagazo de caña de azúcar, permitieron obtener un mosto fermentable, compuesto principalmente por azúcares hemicelulósicos, en el que pudieron crecer las cepas de levaduras seleccionadas y producir etanol. El proceso de acondicionamiento para las cepas de levaduras aisladas, permitió su adaptación y crecimiento en el mosto obtenido por hidrólisis química, alcanzando la máxima productividad de etanol a los 120 días, siendo del 86 % del máximo rendimiento teórico. Es conveniente mantener la búsqueda de nuevas cepas productoras de etanol, con

■ Tabla 4. Parámetros cinéticos de producción de etanol utilizando la cepa de levadura nativa UAT-3 en hidrolizado de bagazo de caña concentrado.

Table 4. Kinetic parameters of ethanol production using native yeast strain UAT-3 hydrolyzate sugar cane bagasse concentrate.

Parámetros de la fermentación		
Tiempo (h)	Y _{P/S} (g/g)*	Q _P (g/L·h)*
120	0.441 7 ± 0.024	0.076 7 ± 0.002
216	0.288 9 ± 0.04	0.027 8 ± 0.003

*Y_{P/S}, rendimiento de etanol por g de glucosa ± desviación estándar y Q_P, productividad volumétrica de etanol ± Desviación estándar.

mayor capacidad de fermentación, preferentemente capaces de consumir y transformar en etanol arabinosa y xilosa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Mixto CONACyT Gobierno del Estado de Tamaulipas, Convenio

00192588 de la Convocatoria M0021-2012-40, y a la Dirección de Superación Académica, del Programa para el Desarrollo Profesional Docente de la Convocatoria 2015 para el fortalecimiento a Cuerpos Académicos por el apoyo financiero otorgado en el proyecto con clave UAT-CA-115.

REFERENCIAS

- Agüero-Rodríguez, J. C., Tepetla-Montes, J. y Torres-Beristáin, B. (2015). Producción de biocombustibles a partir de la caña en Veracruz, México: perspectivas y riesgos socio-ambientales. *CienciaUAT*. 9(2): 74-84.
- Aguilar, R., Ramírez, J., Garrote, G., and Vázquez, M. (2002). Kinetic study of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse. *Journal of Food Engineering*. 55(4): 309–318.
- Aguilar-Rivera, N. (2007). Bioetanol de la caña de azúcar. *Avances en Investigación Agropecuaria. Revista AIA*. 11(3): 25-39.
- Aguilar-Rivera, N. (2011). Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Ingeniería investigación y tecnología*. 12(2): 189-197.
- Aguilar-Rivera, N. (2013). Análisis de la productividad de etanol de caña de azúcar en ingenios azucareros de México. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. *Ciencia Ergo Sum*. 20(1): 17-28.
- Albuquerque-Wanderley, M., C., Martín, C., Moraes-Rocha, J. G., and Ribeiro-Gouveia, E. (2013). Increase in ethanol production from sugarcane bagasse based on combined pretreatments and fed-batch enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*. 128: 448–453.
- Antunes, F. A. F., Chandel, A. K., Milessi, T. S. S., Santos, J. C., Rosa C. A., and da-Silva, S. S. (2014). Bioethanol production from sugarcane bagasse by a novel Brazilian pentose fermenting yeast *Scheffersomyces shehatae* UFMG-HM 52.2: Evaluation of fermentation medium. *International Journal of Chemical Engineering*. (1): 1-8.
- Attfield, P. V. and Ketsas, S. (2000). Hyper-osmotic stress response by strains of baker's yeasts in high sugar concentration medium. *Letters in Applied Microbiology*. 31(4): 323–327.
- Boussarsar, H., Rogé, B., and Mathlouthi, M. (2009). Optimization of sugarcane bagasse conversion by hydrothermal treatment for the recovery of xylose. *Bioresource Technology*. 100(24): 6537-6542.
- Brooks, A. A. (2008). Ethanol production potential of local yeast strains isolated from ripe banana peels. *African journal of Biotechnology*. 7(20): 3749-3752.
- Carballo, F. (2000). *Microbiología industrial: Microorganismos de interés industrial*. España: Editorial Acribia. 31 Pp.
- Caridi, A. (2003). Effect of protectants on the fermentation performance of wine yeasts subjected to osmotic stress. *Food Technology Biotechnology*. 41(2): 145-148.
- Carreón-Rodríguez, O. E., Ramos-López, A. S., Centeno-Leija, S., Leal-Reyes, L. J., Martínez-Jiménez, A., and Fer-

- nández-Sandival, M. T. (2009). Etanol carburante. *Biotecnología*. 13(3): 79-102.
- Ceccato-Antonini, S. R., Davis-Tosta, Ch., and da-Silva, A. C. (2004). Determination of yeast killer activity in fermenting sugarcane juice using selected ethanol-making strains. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 47(1): 13-23.
- Chandel, A. K., Chandrasekhar, G., Radhika, K., Ravinder, R., and Ravindra, P. (2011). Bioconversion of pentose sugars into ethanol: A review and future directions. *Biotechnology and Molecular Biology Review*. 6(1): 8-20.
- Chandler, C., Villalobos, N., González, E., Arenas, E., Mármol, Z., Ríos, J. y Aiello-Mazzarri, A. (2012). Hidrólisis ácida diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentables. *Multiciencias*. 12(3): 245-253.
- Choi, G. W., Kang, H. W., and Moon, S. K. (2009). Repeated-batch fermentation using flocculent hybrid, *S. cerevisiae* for the efficient production of bioethanol. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 84(2): 261-269.
- Felipe, M. G. A., Veira, M. V., Vitolo, M., Mancilha, I. M., Roberto, I. C., and Silva, S. S. (1995). Effect of acetic acid on xylose fermentation to xylitol by *Candida guilliermondii*. *Journal of Basic Microbiology*. 35(3): 171-177.
- Fernández, T., Martín, C. y Taherzadeh, M. (2009). Evaluación de cepas industriales de *Saccharomyces cerevisiae* para la obtención de etanol a partir de fuentes que no afectan la producción de alimentos. *ATAC*. 1: 5-10.
- Ferrer, J. R., Páez, G., Arenas-De-Moreno, L., Chandler, C., Mármol, Z. y Sandoval, L. (2002). Cinética de la hidrólisis ácida de bagacillo de caña de azúcar. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 19(1): 23-33.
- Field, S. J., Ryden, P., Wilson, D., James, S. A., Roberts, I. N., Richardson, ..., and Clarke, T. A. (2015). Identification of furfural resistant strains of *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces paradoxus* from a collection of environmental and industrial isolates. *Biotechnology for Biofuels*. 8(1): 1-8.
- García, M., Quintero, R. y Lopez, A. (1998). *Biotecnología Alimentaria*. México: Editorial LIMUSA S.A. 619 Pp.
- Gómez-Ruiz, S. E., De-los-Ríos-Deras, G. C., Soto-Cruz, N. O., López-Miranda, J. y Rutiaga-Quñones, O. M. (2007). Capacidad fermentativa de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* nativas de la región productora de mezcal de Durango, en XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería VII, Simposio Internacional de Producción de Alcoholes y Levaduras. Durango. [En línea]. Disponible en: <http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbbacpu>
- lco09/TRABAJOS/AREA_X/CX-18.pdf. Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2015.
- Guarnizo-Franco, A., Martínez-Yépes, P. N., and Valencia-Sánchez, H. A. (2009). Pretratamientos de la celulosa y biomasa para la sacarificación. *Scientia et Technica*. 2(42): 284-289.
- Huerta-Beristain, G., Utrilla, J., Hernández-Chavez, G., Bolívar, F., Gosset, G., and Martínez, J. (2008). Specific ethanol production rate in ethanologenic *Escherichia coli* strain KO11 is limited by pyruvate decarboxylase. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*. 15(1): 55-64.
- Ingram, L. O. and Buttke, T. M. (1985). Effects of alcohols on microorganisms. *Advances in microbial physiology*. 25: 253-300.
- Jones, S. R. P., Pammen, T. N., and Greenfield, P. F. (1981). Alcohol fermentation by yeasts. The effect of environmental and other variables. *Process Biochemistry*. 16(3): 42-49.
- Joshi, V. K., Shah, P. K., and Kumar, K. (2005). Evaluation of peach cultivars for wine preparation. *Journal of Food Science and Technology*. 42(1): 83-89.
- Kodama, S., Nakanishi, H., Arachchige, T., Piyamali, T. T., Isono, N., and Hisamatsu, M. (2013). A wild and tolerant yeast suitable for ethanol fermentation from lignocelluloses. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 115(5): 557-561.
- Lappe-Oliveras, P., Moreno-Terrazas, R., Arrizón-Gaviño, J., Herrera-Suárez, T., García-Mendoza, A., and Gschaedler-Mathis, A. (2008). Yeasts associated with the production of Mexican alcoholic nondistilled and distilled Agave beverages. *FEMS yeast research*. 8(7): 1037-1052.
- Larsson, S., Palmqvist, E., Hahn-Hägerdal, B., Tengborg, Ch., Stenberg, K., Zacchi, G., and Nilvebrant, N. O. (1999). The generation of fermentation inhibitors during dilute acid hydrolysis of softwood. *Enzyme and Microbiology Technology*. 24(3): 151-159.
- Lopes, D. H. J. and Sola-Penna, M. (2001). Urea increases tolerance of yeast inorganic pyrophosphatase activity to ethanol: the other side of urea interaction with proteins. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 394(1): 61-66.
- Magliani, W., Conti, S., Gerloni, M., Bertolotti, D., and Polonelli, L. (1997). Yeast killer systems. *Clinical Microbiology Reviews*. 10(3): 369-400.
- Malacrino, P., Tosi, E., Caramia, G., Prisco, R., and Zappaloli, G. (2005). The vinification of partially dried grapes: A comparative fermentation study of *Saccharomyces*

cerevisiae strains under high sugar stress. *Letters in Applied Microbiology*. 40(6): 466–472.

Marquina, D., Santos, A., and Peinado, J. (2002). Biology of killer yeasts. *International Microbiology*. 5(2): 65–71.

Matiz, A., Torres, C. y Poutou, R. A. (2002). Producción de etanol con células inmovilizadas de *Zymomonas mobilis* spp. *Revista MVZ Córdoba*. 7(2): 216–223.

Mielenz, J. R. (2001). Ethanol production from biomass: technology and commercialization status. *Current Opinion in Microbiology*. 4(3): 324–329.

Mohanty, S., Ray, P., Swain, M. R., and Ray, R. C. (2006). Fermentation of cashew (*Anacardium occidentale* L.) “apple” into wine. *Journal of Food Processing and Preservation*. 30(3): 314–322.

Nally, M. C., Maturano, Y. P., Vázquez F. y Toro M. E. (2005). Comportamiento de una cepa salvaje de *Saccharomyces cerevisiae* killer y su isogénica sensible respecto de diferentes fuentes de nitrógeno en cultivos mixtos. *Revista Argentina de Microbiología*. 37(1): 73–77.

Nigam, J. N. (2001). Ethanol production from wheat straw hemicellulose hydrolysate by *Pichia stipitis*. *Journal of Biotechnology*. 87(1): 17– 27.

Oliart-Ros, R. M., Sánchez-Otero, M. G. y Manresa-Presas, Á. (2016). Utilización de microorganismos de ambientes extremos y sus productos en el desarrollo biotecnológico. *CienciaUAT*. 11(1): 79–90.

Oliva, J. M. (2003). Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de chopo sobre *Kluyveromyces Marxianus*. [En línea]. Disponible en :<http://www.ucm.es/BUCM/tesis/bio/ucmt26833.pdf>. Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2015.

Orberá, T. (2004). Métodos moleculares de identificación de levaduras de interés biotecnológico. *Revista Iberoamericana de Micología*. 21: 15–19.

Ortiz-Zamora, O., Cortés-García, R., Ramírez-Lepe, M., Gómez-Rodríguez, J., and Aguilar-Uscanga, M. G. (2009). Isolation and selection of ethanol resistant and osmotolerant yeasts from Regional Agricultural Sources in Mexico. *Journal of Food Process Engineering*. 32 (5): 775–786.

Oviedo-Zumaqué, L., Lara-Mantilla, C. y Mizger-Pantoja, M. (2009). Levaduras autóctonas con capacidad fermentativa en la producción de etanol a partir de pulpa de excedentes de plátano *Musa* (AAB Simmonds) en el departamento de Córdoba, Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 11(1): 40–47.

Palmqvist, E. and Hahn-Hägerdal, B. (2000a). Fermentation of lignocellulosic hydrolysates I: Inhibition and

detoxification. *Bioresource Technology*. 74(1): 25–33.

Palmqvist, E. and Hahn-Hägerdal, B. (2000b). Fermentation of lignocellulosic hydrolysates II: Inhibitors and mechanisms of inhibition. *Bioresource Technology*. 74(1): 17–24

Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, C., and Soccol, V. T. (2000). Biotechnological potential of agroindustrial residues I: Sugar cane bagasse. *Bioresource Technology*. 74(1): 69–80.

Pataro, C., Guerra, J. B., Petrillo-Peixoto, M. L., Mendonça-Hagler, L. C., Linardi, V. R., and Rosa, C. A. (2000). Comunidades de levadura y polimorfismo genético de la especie *Saccharomyces cerevisiae* asociada a una fermentación artesanal en Brasil. *Journal Applied Microbiology*. 89(1): 24–31.

Purwadi, R., Niklasson, C., and Taherzadeh, M. J. (2004). Kinetic study of detoxification of dilute-acid hydrolysates by Ca(OH)₂. *Journal of Biotechnology*. 114(1): 187–198.

Saha, P., Baishnab, A. C., Alam, F., Khan, M. R., and Islam, A. (2014). Production of bio-fuel (bio-ethanol) from biomass (pteris) by fermentation process with yeast. *Procedia Engineering*. 90: 504–509.

Schwan, R. F., Mendonça, A. T., Da-Silva, J. J., Rodrigues, V., and Wheals, A. E. (2001). Microbiology and physiology of Cachaça (Aguardente) fermentations. *Antonie van Leeuwenhoek*. 79(1): 89–96.

Suleiman, L. N. (2010). Renewable energy as a solution to Nigerian energy crisis. *VUAS*. 13–19.

Tuite, M. F. and Oliver, S. G. (1991). *Saccharomyces*. *Biotechnology Handbooks, chapter 8, Culture Systems*. New York: Plenum Press. 282 Pp.

Yeon-Ju, L., Yu-Ri, Ch., So-Young, L., Jong-Tae, P., Jae-Hoon, S., Kwan-Hwa, P., and Jung-Wan, K. (2011). Screening wild yeast strains for alcohol fermentation from various fruits. *Mycobiology*. 39(1): 33–39.

Yong-Jin, K., An-Zhou, M., Qian, L., Feng, W., Guo-Qiang, Z., and Chun-Zhao, L. (2011). Effect of lignocellulosic inhibitory compounds on growth and ethanol fermentation. *Bioresource Technology*. 102(17): 8099–8104.

Zumalacárregui-De-Cárdenas, L. M., Pérez-Ones, O., Rodríguez-Ramos, P. A., Zumalacárregui-De-Cárdenas, B. M., and Lombardi, G. (2015). Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*. 16(3): 407–418.

Zyl, C. V., Prior, B. A., and Du-Preez, J. C. (1991). Acetic acid inhibition of D-xylose fermentation by *Pichia stipitis*. *Enzyme Microbiology Technology*. 13(1): 82–86.



© Dr. Sóstenes Varela Fuentes

Métodos para la detección presuntiva de Huanglongbing (HLB) en cítricos

Methods for presumptive detection of Huanglongbing (HLB) in Citrus

Juan José Garza-Saldaña^{1*}

Sóstenes Varela-Fuentes¹

Wilfrido Gómez-Flores²

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87149.

²Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Tamaulipas, Parque Científico y Tecnológico TECNOTAM, km 5.5 carretera Ciudad Victoria-Soto La Marina, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87130.

***Autor para correspondencia:**

jjgarza@docentes.uat.edu.mx

Fecha de recepción:

27 de noviembre de 2015

Fecha de aceptación:

23 de junio de 2016

RESUMEN

Huanglongbing (HLB) es considerada mundialmente como la enfermedad más amenazadora para la citricultura, y ha impactado principalmente en Asia, Sudáfrica y Brasil. A la fecha, no se cuenta con un tratamiento efectivo para la detección de esta enfermedad, que pueda ayudar a disminuir su propagación y la consecuente eliminación de árboles infectados. El método más confiable hasta ahora, para la identificación del HLB, es la prueba de reacción en cadena de la polimerasa (qrt-PCR), la cual es costosa y tardada. Esta es la primera revisión de los diferentes métodos existentes o en desarrollo para la detección e identificación del HLB; clasificados en métodos de análisis y reconocimiento de patrones en imágenes, espectrofotométricos, cromatográficos y moleculares a través del insecto vec-

tor. Algunos de estos métodos representan alternativas innovadoras con diferente nivel de eficiencia en tiempo, costo y confiabilidad en la detección de árboles enfermos de HLB o en el manejo de la enfermedad, con relación a los tradicionalmente utilizados.

PALABRAS CLAVE: detección, Huanglongbing, HLB.

ABSTRACT

Huanglongbing (HLB) is considered worldwide as the most threatening disease for citrus and has impacted mainly in Asia, South Africa and Brazil. Until now, no effective treatment for the detection of this disease (is available, which can help diminish its spread and the consequent removal of infected trees). The most reliable identification HLB test method to date is the polymerase chain reaction (qrt-PCR),

which is costly and time-consuming. This is the first review of the different existing or developing methods for HLB detection and identification, classified into analysis and pattern recognition in images, spectrophotometric, chromatographic and molecular through the insect vector. Some of these methods represent innovative alternatives with different levels of efficiency in time, cost and reliability in detecting diseased trees or in managing the disease, compared to those traditionally used.

KEYWORDS: detection, Huanglongbing, HLB.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad más devastadora para los cítricos a nivel mundial es el Huanglongbing (HLB); se estima que ha causado la muerte de más de 63 millones de árboles, principalmente en Asia, Sudáfrica y Brasil (Robles-González y col., 2013; Santivañez y col., 2013). Es una enfermedad de rápida diseminación, detectada por primera vez en el hemisferio Occidental en 2004, en Brasil (Texeira y col., 2005); en agosto de 2005 se reportó el primer brote en Florida, Estados Unidos (Halbert, 2005), y desde entonces se extendió a todos los condados de dicho estado y a algunos condados productores de California y

Texas (Choi y col., 2013). Se considera que entre 2004 y 2011 disminuyó en un 28 % la superficie citrícola comercial de Florida, y con ella el número de árboles en producción, siendo el HLB una de las principales razones (Pourreza y col., 2015).

En México, la enfermedad se detectó por primera vez en julio de 2009, en árboles de limón mexicano, en áreas urbanas de la península de Yucatán. Posteriormente, se reportó en árboles de la misma especie en los estados de Nayarit y Jalisco, y en 2010 en Colima (SENASICA, 2015a); en este último estado, hasta diciembre de 2010, se habían detectado 164 359 árboles de limón mexicano con síntomas atribuibles al HLB, en 1 062 plantaciones ubicadas en diferentes zonas productoras (Robles-González y col., 2013). En noviembre de 2015, el HLB se encontraba presente en 347 municipios, pertenecientes a 18 de los 24 estados que cultivan cítricos en México (Figura 1) (SENASICA, 2015b).

El HLB es causado por bacterias gram-negativas del género *Candidatus Liberibacter*: denominado *Candidatus*, por pertenecer al tipo de microorganismos que no es posible cultivar en el laboratorio con las técnicas tradicionales, lo que



■ Figura 1. Mapa de distribución del HLB en México (SENASICA, 2015b).
Figure 1. Distribution map of HLB in Mexico (SENASICA, 2015b).

dificulta su caracterización y clasificación. El nombre *Liberibacter* es una palabra compuesta, proveniente de dos vocablos del latín *liber* (corteza) y *bacter* (bacteria). Se reconocen tres tipos causantes de esta enfermedad: *Candidatus Liberibacter asiaticus*, *Candidatus Liberibacter africanus* y *Candidatus Liberibacter americanus* (Bové, 2006; Santivañez y col., 2013). Estas bacterias son introducidas por un organismo vector en el floema de la planta hospedera, y al moverse, a través del sistema vascular, la contaminan en su totalidad, causando su muerte después de 2 a 3 años (Robles-González y col., 2013).

Los árboles gravemente afectados tienen manchas moteadas en hojas, hojas más pequeñas con algunos síntomas de deficiencia de nutrientes, así como venas de color amarillo. Además, las frutas infectadas con HLB muestran colores anormales, formas irregulares, sabor amargo y presentan semillas abortadas. Estos síntomas pueden utilizarse para el diagnóstico de la enfermedad, pero son imprecisos, por lo que se requiere su confirmación (Gonzalez y col., 2012; Pourreza y col., 2015). Las bacterias asiática y americana, que causan el HLB, se transmiten a través de un vector común, el psílido *Diaphorina citri* (Kuwayama); en tanto que la bacteria africana

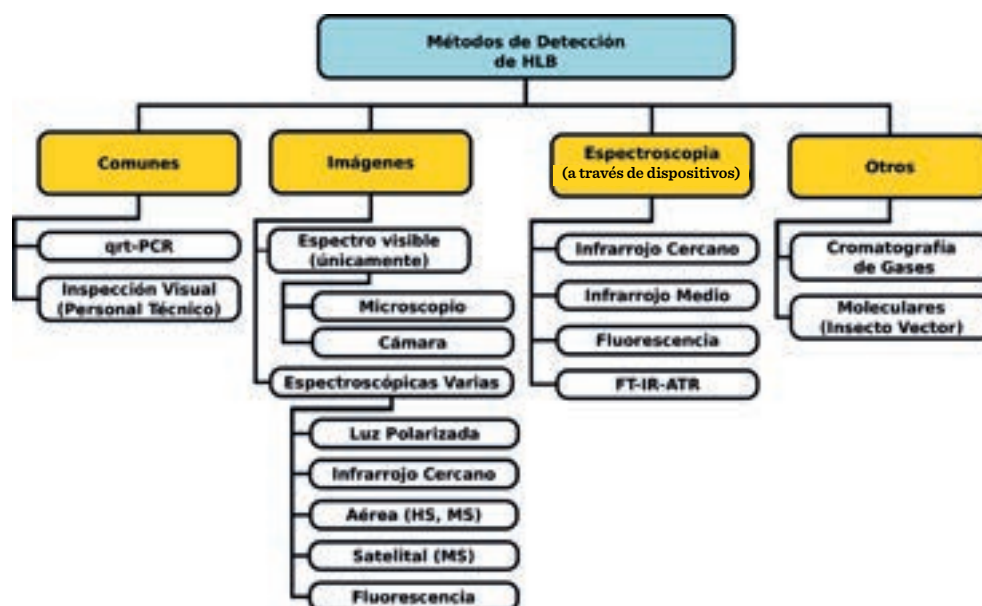
es transmitida por el psílido *Trioza erytreae* (Del Guercio) (Albrecht y Bowman, 2008; Santivañez y col., 2013).

Actualmente, no existe un tratamiento efectivo para el HLB, por lo que se requiere su detección temprana, para proceder a la eliminación de los árboles infectados, lo que puede ayudar a minimizar y controlar la propagación de la enfermedad a otros árboles en el huerto y la región en general (Pourreza y col., 2015).

En el presente documento se analizan los métodos comúnmente utilizados y los métodos innovadores propuestos para la detección del HLB en cítricos (Figura 2), clasificándolos en: métodos de análisis y reconocimiento de patrones de la enfermedad en imágenes a través de cámaras, métodos que adquieren información espectroscópica a través de dispositivos y otros basados en cromatografía y de detección molecular a través del insecto vector.

Métodos comunes para la detección del HLB

Para la detección de HLB se utilizan dos métodos comunes: la inspección visual de los síntomas y la prueba de reacción en cadena de la polimerasa (qrt-PCR, por sus siglas en inglés:



■ **Figura 2. Clasificación de métodos de detección de HLB.**

Figure 2. Classification of methods for HLB detection.

Polymerase Chain Reaction); ambos métodos son costosos, por la cantidad de recursos que utilizan, y consumen tiempo. Con relación a la eficiencia del diagnóstico (Futch y col., 2009), en un estudio realizado por inspectores profesionales en el condado de DeSoto, Florida, Estados Unidos, mostraron que la exactitud de la identificación de un árbol infectado con HLB mediante inspección visual es entre 47 % y 61 %. Por otra parte, la prueba de reacción cuantitativa en tiempo real de la cadena de la polimerasa (qrt-PCR) puede identificar el estado de HLB con mayor precisión, ya que es una prueba de diagnóstico basada en métodos de laboratorio (Pourreza y col., 2015).

Métodos basados en otras técnicas para la detección del HLB

La existencia de métodos rápidos y fáciles para detección de enfermedades de las plantas, mejoran indirectamente la productividad de la agricultura e impiden importantes pérdidas en el sector agrícola. Una de las principales herramientas para la detección de enfermedades es el empleo del espectro electromagnético, que es el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electromagnéticas, incluyendo los rayos gamma, los rayos X, la radiación ultravioleta (UV), la luz visible (espectro visible), la radiación infrarroja (IR) y las ondas radioeléctricas (Gonzalez y Woods, 2008).

Sankaran y col. (2010b), mostraron diferentes métodos para la detección de varias enfermedades como: espectroscopia fluorescente para la detección de canker en cítricos, espectroscopia visible e infrarroja, para la detección de infestación de chicharrita de color marrón (*Nilaparvata lugens*) en plantas de arroz, e imágenes hiperespectrales, para la detección de sarna del trigo (*Fusarium head blight*), entre otros.

El empleo del espectro electromagnético, apoyado de visión artificial, es uno de los enfoques de mayor éxito en el control y detección de enfermedades, tanto para árboles como para cultivos herbáceos. Se muestran dos clases de técnicas para la detección de HLB que utilizan imá-

genes de hojas o árboles de cítricos: la primera hace uso de imágenes adquiridas en el espacio de color visible, específicamente imágenes en color (RGB, del inglés Red, Green, Blue); en la segunda, algunos trabajos utilizan combinaciones de imágenes del espectro electromagnético visible y no visible al ojo humano y son adquiridas por cámaras especiales. El HLB también se detecta utilizando diferentes dispositivos electrónicos que adquieren datos del espectro electromagnético, sin el empleo de imágenes, en función del objeto al cual son dirigidos (hojas o árboles). Los métodos que no utilizan las técnicas anteriores fueron clasificados en este trabajo como otros métodos de detección (Figura 2).

Análisis de imágenes y reconocimiento de patrones por computadora

En esta sección se revisaron métodos que utilizan imágenes de cámaras digitales y cámaras espectroscópicas.

Imágenes dentro del espectro visible

Microscopio

Kim y col. (2009), evaluaron con imágenes extraídas a través de un microscopio digital (VHX-600K con lentes OP-51479, Keyence, Japón) la capacidad de co-ocurrencia de características de hojas de cítricos, utilizando una selección de 420 imágenes de hojas con dimensiones de 1 600 píxeles por 1 200 píxeles, adquiridas en el espacio de color RGB y convertidas al espacio HSI (del inglés *Hue, Saturation, Intensity*); las imágenes fueron clasificadas por personal experto en siete clases sintomáticas: reverdecimiento moteado con manchas, con islas verdes, deficiencia de hierro, deficiencia de magnesio, deficiencia de zinc, hojas de brotes jóvenes y hojas maduras normales. También emplearon un análisis discriminante por pasos, con fines de selección y clasificación de características de las imágenes. Se originaron tres funciones de clasificación, que al utilizarlas generaron algoritmos clasificadores, los cuales permitieron una precisión de clasificación de 86.7 %, cuando se consideraron todas las clases; sin embargo, la exactitud aumentó a 97.3 %, cuando se omitieron en el algoritmo de clasi-

ficación las clases de hojas de brotes jóvenes y de color moteado con manchas.

Cámara

Deng y col. (2014), propusieron un método para reconocer el HLB, basado en el análisis de RGB. Utilizaron una base de datos de 216 imágenes de hojas, clasificadas por expertos, en: sanas, enfermas con HLB, con síntomas atenuados de HLB por tratamientos, amarillas y con deficiencia de zinc. Las imágenes fueron obtenidas con diferentes cámaras, iluminación, resolución y ángulo. En la etapa de entrenamiento se obtuvieron imágenes de las diferentes hojas, pertenecientes a cada una de las clases mencionadas y se analizaron sus características. Estas se colocaron en una estructura de datos denominada árbol ponderado de vocabulario escalable (WSVT, por sus siglas en inglés: Weighted Scalable Vocabulary Tree). Posteriormente, en la etapa de reconocimiento de la imagen de la hoja a clasificar se extrajo también un WSVT, que se comparó con la base de datos obtenida en la fase de entrenamiento y se identificó la clase a la que pertenecía la imagen. Los resultados mostraron una exactitud entre 95 % y 100 %, con tiempos inferiores a 1 s.

Imágenes espectroscópicas

Las técnicas espectroscópicas permiten identificar moléculas desconocidas, ya que pueden medir las longitudes de enlace y determinar las constantes de fuerza asociadas a los enlaces químicos. Están basadas en determinar las transiciones que tienen lugar entre diferentes estados de energía de las moléculas, cuando interactúan con la radiación electromagnética (Engel y Reid, 2006).

Se han probado diferentes métodos que utilizan la visión por computadora para detectar HLB, en los que se aprovechan las características que proveen las imágenes espectroscópicas, como se muestra a continuación.

Luz polarizada

Las hojas infectadas con HLB presentan un alto contenido de almidón (Ettxeberria y col., 2009), lo

cual ha sido utilizado para diagnosticar la presencia de esta enfermedad (Gonzalez y col., 2012). Pourreza y col. (2014), mostraron los resultados del estudio de acumulación de almidón en hojas de cítricos HLB-sintomáticas, donde esta acumulación hizo girar el plano de polarización de la luz a 591 nm, capturando esta reflectancia con cámaras monocromáticas. Siete algoritmos clasificadores fueron evaluados y se consideraron tres clases de muestras (deficiencia de magnesio, HLB-positivo con deficiencia de zinc y HLB-negativo con deficiencia de zinc), en el proceso de clasificación, para confirmar la capacidad de detección de almidón en el sistema; se obtuvieron precisiones de 93.1 % y 89.6 % en promedio, para las variedades “Hamlin” y “Valencia” respectivamente.

Pourreza y col. (2015), haciendo uso del mismo principio de acumulación de almidón en las hojas de los cítricos, utilizaron un sensor de visión desarrollado para el propósito de detección en tiempo real del HLB en condiciones de campo; el sensor pudo detectar la infección directamente sobre la copa del árbol e incluyó una cámara monocromática altamente sensible, LEDs de alta potencia de banda-estrecha y filtros polarizados. Los resultados detectaron HLB en el rango de 95.5 % a 98.5 % en pruebas de campo y laboratorio, y las muestras HLB-negativas fueron clasificadas con 100 % de precisión en los conjuntos probados.

Infrarrojo cercano

El infrarrojo cercano es la radiación del espectro luminoso que se extiende desde el extremo del rojo visible hacia frecuencias mayores (Gonzalez y Woods, 2008). Mishra y col. (2007), reportaron que las regiones de longitudes de onda en el espectro visible, de 530 nm a 564 nm (pico verde) y las del rango 710 nm a 715 nm (borde rojo), así como dos longitudes de onda de la región del infrarrojo cercano (1 041 nm y 2 014 nm), tuvieron la capacidad de discriminar entre árboles sintomáticos de HLB y sanos.

Sankaran y col. (2013), demostraron también la aplicabilidad de espectroscopia del infrarrojo

cercano visible, además de imágenes térmicas para la detección de HLB en árboles de cítricos. Tres cámaras (dos multiespectrales de 6 bandas y una térmica), montadas sobre el mástil de un vehículo, se utilizaron para adquirir las imágenes. Las cámaras multiespectrales se configuraron para obtener imágenes en 12 bandas en el rango de 440 nm a 990 nm. Los algoritmos de clasificación utilizando valores promedio de la reflectancia espectral visible y las bandas térmicas como características de entrada, con el método de Máquinas de Soporte Vectorial (SVM, por sus siglas en inglés: Support Vector Machine), indicaron una precisión global de clasificación positiva media alrededor del 87 % para árboles con hojas sintomáticas. Las SVM son conjuntos de algoritmos de aprendizaje supervisado, que construyen un modelo que predice si un elemento nuevo, cuya categoría se desconoce, pertenece a una categoría o a la otra.

Fotografía aérea

Estos métodos son capaces de detectar áreas infectadas, abarcando grandes superficies de cultivo; pero dependen de la precisión en la verificación por tierra del área muestreada y los algoritmos clasificadores implementados. Algunos de ellos utilizan imágenes de cámaras multiespectrales (MS), que permiten capturar la información de varias bandas del espectro (típicamente de 4 a 7); o hiperespectrales (HS), que se obtienen al capturar un mayor número de bandas (Amro y col., 2011).

La detección del HLB, utilizando imágenes obtenidas desde un aeroplano, ha sido reportada en varios trabajos. Kumar y col. (2010), emplearon imágenes aéreas HS y MS, y realizaron la prueba de PCR en muestras vegetales, para comprobar la presencia de HLB en árboles infectados en una zona bajo análisis. Se registraron las coordenadas de latitud y longitud a través de un dispositivo receptor de GPS y se generó una librería derivada de las imágenes espectrales y las coordenadas. Se logró una precisión en la detección de 80 %, utilizando *Mixture Tuned Match Filtering* (MTMF, por sus siglas en inglés) con la imagen HS; para el filtro de mapeo

de ángulo espectral (SAM, por sus siglas en inglés: Spectral Angle Mapping): con imagen MS la precisión fue de 87 %.

Li y col. (2012), emplearon imágenes aéreas HS y MS, de plantaciones de cítricos, en Florida, Estados Unidos, obtenidas durante el 2007 y 2010. La precisión de detección para HLB fue mayor a 90 %, con un método sencillo de umbral de posición de borde rojo (REP, por sus siglas en inglés: Red Edge Position). Años más tarde, Li y col. (2014), propusieron un algoritmo denominado mapeo de ángulos espectrales extendido (ESAM, por sus siglas en inglés: Spectral Angle Mapping), en el cual, el algoritmo SVM fue utilizado para separar las copas de los árboles del fondo, y el método ESAM logró una precisión de detección del 86 %, utilizando imágenes HS.

Garcia-Ruiz y col. (2013), obtuvieron imágenes aéreas de un área de interés específica, utilizando un vehículo aéreo no tripulado (UAV, por sus siglas en inglés: Unmanned Aerial Vehicle), o dron equipado con una cámara de alta resolución, con sensores de imagen multi-banda, ajustando la resolución deseada de acuerdo a la altitud de vuelo. Los resultados obtenidos se compararon con resultados de imágenes adquiridas desde un aeroplano y que tienen una resolución inferior. Previo a la adquisición de imágenes, se identificaron y ubicaron con GPS en el área de interés, 19 árboles sanos y 19 árboles con HLB (detectados por PCR). Durante el proceso de clasificación se separó o segmentó el suelo con respecto a la copa de los árboles. En el análisis se comparó la eficiencia de cuatro algoritmos: análisis lineal, de discriminante cuadrática, SVM con ajuste lineal y no lineal (de kernel); con este último se obtuvo una precisión mayor, en el rango del 67 % a 85 % con datos del UAV y 61 % a 74 % con datos del aeroplano.

Fotografía satelital

Li y col. (2015), utilizaron el análisis de imágenes satelitales MS con una resolución de 2 m, adquiridas por el satélite WorldView-2, como una forma rápida para monitorear HLB en grandes ex-

tensiones. A la vez, realizaron una exploración por tierra, y se construyeron dos bibliotecas espectrales: la Biblioteca 1 con ubicaciones *Real Time Kinematic* (RTK, por sus siglas en inglés), GPS para obtener exactitud submétrica; y la Biblioteca 2 con el conocimiento previo de las características espectrales de la exploración por tierra, con el fin de comparar la precisión de detección del HLB de trabajos previos que utilizan imágenes espectrales aéreas (con los mismos algoritmos de clasificación). La distancia de Mahalanobis tuvo la mayor precisión con un 81 %, utilizando la Biblioteca 2. Lo que indica que la imagen satelital MS, con una resolución espacial adecuada, presenta potencial para la detección del HLB.

Espectroscopia de imágenes fluorescentes

Fluorescencia es la propiedad que tienen algunas sustancias de reflejar luz con mayor longitud de onda que la recibida cuando están expuestas a ciertos rayos del espectro (Engel y Reid, 2006). Wetterich y col. (2012), desarrollaron y evaluaron un método de visión por computadora y técnicas de aprendizaje automático para la clasificación de hojas con HLB y hojas sanas, utilizando un dispositivo personalizado de espectroscopia de imágenes fluorescentes con una cámara monocromática. Las características extraídas de las imágenes fueron utilizadas como entradas de diferentes algoritmos clasificadores, y encontraron que el algoritmo SVM puede clasificar intensidades de fluorescencia de hojas infectadas de HLB hasta con 90 % de precisión. Por otro lado, al comparar la intensidad de fluorescencia de hojas de cítricos recolectadas en Brasil y los Estados Unidos esta fue diferente.

Pereira y col. (2011), estudiaron el uso potencial de imágenes de fluorescencia inducida por láser (LIFI, por sus siglas en inglés: Laser-Induced Fluorescence Imaging), para detección de HLB en naranja dulce (*Citrus sinensis*), a través de un experimento, en el que verificaron la respuesta de fluorescencia, durante un periodo de ocho meses después de la inoculación bacteriana de 60 árboles. Utilizaron el sistema de LIFI, a 473 nm de longitud de onda de excitación, para tomar fo-

tografías de fluorescencia de hojas de la planta y encontraron que el método propuesto fue capaz de identificar el 95 % de las plantas con HLB, aun en etapas tempranas de la enfermedad (primeros meses), antes de la aparición de los síntomas visuales.

Espectroscopia

En esta sección se muestra la utilización de datos de espectroscopia capturados a través de varios dispositivos electrónicos y que no emplean procesamiento de imágenes durante su análisis.

Infrarrojo cercano

Al analizar las hojas de los árboles de cítricos para la detección del HLB, Sankaran y col. (2011), utilizaron un espectroradiómetro portátil, donde extrajeron 86 características espectrales en el rango visible y del infrarrojo cercano, entre 350 nm y 2 500 nm con intervalos de 25 nm. Obtuvieron un conjunto de datos combinados mediante el análisis de componentes principales (PCA), que se utilizaron en varios clasificadores, alcanzando un 95 % de precisión, cuando se empleó el conjunto de datos de la segunda derivada, y el clasificador denominado análisis de discriminante cuadrático (QDA). En otro estudio, Sankaran y Ehsani (2011), evaluaron las características de los mismos espectros, incluyendo además reflectancia espectral e índices de vegetación en condiciones de laboratorio y de campo, encontrando que el uso de ambos tipos de características puede resultar en una precisión de clasificación mayor al 80 %.

Mishra y col. (2011), evaluaron un sensor óptico activo, multibanda, de bajo costo y portátil, conectado a una PDA (Personal Digital Assistant), para identificar los árboles infectados con HLB de los árboles sanos. El sensor medía la reflectancia de las copas de los árboles en cuatro bandas: dos bandas visibles a 570 nm y 670 nm, y dos bandas de infrarrojo cercano a 870 nm y 970 nm; con esta información calcularon 11 diferentes índices y se utilizaron como entradas de manera combinada en cinco algoritmos clasificadores: árboles de decisión (KNN, por sus

siglas en inglés: K-Nearest Neighbours), regresión logística, redes neuronales y SVM. Se obtuvo una precisión de 97 % para la detección de HLB usando algoritmos basados en SVM y árboles de toma de decisiones. En un estudio separado, Mishra y col. (2012), utilizando dos espectroradiómetros portátiles y una computadora, lograron una precisión de detección de HLB mayor a 90 %, usando múltiples observaciones y un algoritmo clasificador SVM o KNN ponderado.

Infrarrojo medio

La espectroscopia del infrarrojo medio fue empleada por Sankaran y col. (2010a), para identificar la presencia de infección de HLB en hojas de cítricos, contrastando sus espectros con los de hojas con deficiencia de nutrientes y hojas sanas. Las hojas enfermas fueron detectadas a través del análisis de PCR, las sanas y con deficiencia de nutrientes fueron determinadas por un grupo de expertos entrenados. Con este método demostraron que con la firma espectral adquirida en el rango de 5.15 μm a 10.72 μm , el algoritmo KNN es capaz de identificar la infección de HLB en hojas con una exactitud de más del 90 %.

Fluorescencia

Sankaran y Ehsani (2013), utilizaron un sensor de fluorescencia de mano para identificar HLB en etapas sintomáticas y asintomáticas de las hojas de cítricos de diferentes variedades. Los resultados indicaron que el algoritmo *bagged decision tree* (BDT), clasificó con 97 % de precisión las hojas sanas y sintomáticas. Aunque las muestras asintomáticas de los árboles infectados con HLB (en los resultados del análisis de PCR), no pudieron ser clasificadas, el clasificador Naïve-Bayes agrupó la mayor parte de las muestras asintomáticas como HLB.

Espectrometría infrarroja con transformada de Fourier

Hawkins y col. (2010), emplearon un espectrómetro de infrarrojo por transformada de Fourier y como accesorio un cristal de diamante ATR (FT-IR-ATR, por sus siglas en inglés: Fourier

Transform Infrared Attenuated Total Reflection) para detectar hojas infectadas con HLB. Con este método, la hoja debe estar seca y triturada antes del análisis. Más del 95 % de las 179 muestras en este estudio fueron correctamente identificadas. Contrario a la prueba de PCR, que puede tardar horas, los resultados a través de este método son obtenidos en minutos.

Otros métodos de detección

En esta sección se describen los métodos de detección que utilizan técnicas diferentes al análisis y reconocimiento de patrones y la espectroscopia.

Cromatografía de gases

Los organismos vivos producen compuestos orgánicos volátiles (VOCs, por sus siglas en inglés: Volatile Organic Compounds), de manera natural y específica, lo que puede ser aprovechado para detectar diferentes enfermedades, incluso en etapas tempranas en las que aún no aparecen los síntomas visuales, y usualmente se realizan a bajo costo comparado con los métodos comunes. Aksenov y col. (2014), establecieron un método de detección de la enfermedad del HLB basado en el análisis químico de VOCs, liberados por los árboles infectados; encontrando biomarcadores o “huellas digitales” específicas para el patógeno que causa la enfermedad, y que pueden interpretarse utilizando métodos analíticos, tales como cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC/MS, por sus siglas en inglés: Gas Chromatography/Mass Spectrometry) y cromatografía de gases/espectrometría diferencial de movilidad (GC/DMS, por sus siglas en inglés: Gas Chromatography/Differential Mobility Spectrometer). Este método de detección tiene una exactitud cercana al 90 % durante todo el año, acercándose al 100 % bajo condiciones de laboratorio óptimas, incluso en etapas muy tempranas de la infección donde otros métodos no son adecuados.

Detección a través del insecto vector

La bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), asociada con el HLB, se transmite por *Diaphorina citri* Kuwayama, el psílido asiático de los cítricos. Keremane y col. (2015), emplea-

ron psílicos para evaluar la presencia de CLas en una población de insectos, como una herramienta para la detección temprana del HLB en nuevas áreas invadidas por el psílido. Los autores reportaron el desarrollo de un kit de detección molecular de campo para diagnosticar psílicos con CLas, utilizando tecnología de amplificación cíclica (LAMP, por sus siglas en inglés: Loop Mediated Amplification Technology), que permite analizar seis muestras con grupos de 1 a 10 psílicos, además de un control positivo y negativo en aproximadamente 30 min. Los ensayos de LAMP se realizan en una unidad de detección Smart-DARTTM, que es operado desde un dispositivo móvil con sistema operativo Android. El método de detección de LAMP para CLas es aproximadamente 100 veces más sensible que el método tradicional de PCR en tiempo real, por lo que puede ser útil en áreas donde la epidemia está en las etapas iniciales.

El HLB y su detección

La mayoría de los diferentes métodos empleados para la detección de HLB, que fueron mostrados en este trabajo, proveen detección basada en algoritmos de aprendizaje de máquina (Machine Learning) o aprendizaje automático, debido a la complejidad del problema de detección. En general, se utilizan dos enfoques: el primero es el aprendizaje supervisado, que corresponde a algoritmos que tienen como meta aproximar a una función objetivo, y que describen cómo los elementos del problema deben ser clasificados de acuerdo a una clasificación previa (usualmente realizada por personal experto en el área), por medio de una función llamada clasificador, por lo tanto requieren una colección inicial de ejemplares clasificados. Por otro lado, el aprendizaje no supervisado incluye algoritmos en los que no se dispone de ejemplares previamente clasificados, sino que a partir de las propiedades de los mismos ejemplares se intenta dar una clasificación según su similitud. En este tipo se incluyen los algoritmos de agrupamiento (clustering).

En la Tabla 1 se muestran los métodos para detección de HLB, con su respectivo porcentaje de

precisión en la detección, así como su clasificación. En los métodos revisados, la enfermedad fue detectada en la planta a través de los síntomas que mostraba, excepto en el trabajo desarrollado por Keremane y col. (2015), que identificaron la bacteria en los psílicos; y en el de Aksenov y col. (2014), quienes también la detectaron en los VOCs. Por otro lado, los métodos de detección basados únicamente en imágenes a color de cámaras digitales (Deng y col., 2014), así como de microscopio (Kim y col., 2009), tienen la desventaja de ofrecer resultados sólo cuando los síntomas de la enfermedad son evidentes en las hojas, sin embargo, debido a la dificultad que presenta la detección de la enfermedad, aún para personal experto (Futch y col., 2009), son una opción viable cuando los recursos de equipo adicional no están disponibles. Aksenov y col. (2014), quienes detectaron la enfermedad a través de análisis de gases, proveen buenos resultados, pero tienen la desventaja de las condiciones meteorológicas, particularmente el viento, al utilizarse en campo, que influyen en un análisis preciso. Por otra parte, los métodos que requieren recolectar muestras de follaje y la detección a través del insecto vector (Keremane y col., 2015), no consideran el tiempo de captura de las muestras para realizar el análisis, lo cual incrementa el tiempo para obtener el resultado por cada muestra, por lo que al aplicarse en campo pueden consumir grandes cantidades de tiempo.

Los métodos que no requieren hacer contacto con el área afectada ofrecen mayor rapidez en la detección. Pourreza y col. (2015) y Sankaran y Ehsani (2013), mostraron dispositivos que pueden ser colocados sobre un vehículo terrestre y detectar el HLB a cierta distancia del árbol, con una eficiencia de detección superior al 95.5 %. Por otro lado, la utilización de imágenes aéreas o satelitales (Kumar y col. 2010; Li y col., 2014; Li y col., 2015), proveen la ventaja de localizar la enfermedad en grandes extensiones de plantaciones. En cuanto a resolución o grado de detalle de las imágenes, los UAV o drones, adquieren imágenes con resolución mayor, seguidas por las obtenidas a través de un aeroplano y finalmente las satelitales, sin embargo, la diferencia en los

■ Tabla 1. Métodos de detección de HLB, porcentaje de precisión en la detección y clasificación.
Table 1. HLB detection methods, detection accuracy rate and classification.

Núm.	Referencia del trabajo de investigación	% Precisión en la detección del HLB	Tipo de imagen	Tecnología utilizada para la detección			
				Análisis de imágenes	Análisis de gases	Espectroscopia	Moleculares (Insecto Vector)
1	Aksenov y col. (2014)	≈ 90 a 100	---		X		
2	Deng y col. (2014)	95 a 100	RGB	X			
3	Futch y col. (2009)	47 a 61	---				
4	Garcia-Ruiz y col. (2013)	74 (avión), 85 (UAV)	ES, Aérea	X		X	
5	Hawkins y col. (2010)	> 95	ES			X	
6	Keremane y col. (2015)	---	---				X
7	Kim y col. (2009)	86.7 a 97.3	RGB	X			
8	Kumar y col. (2010)	80 (HS), 87 (MS)	ES, Aérea	X		X	
9	Li y col. (2012)	> 90	ES	X		X	
10	Li y col. (2014)	86 (HS)	ES, Aérea	X		X	
11	Li y col. (2015)	81 (MS)	ES, Satelital	X		X	
12	Mishra y col. (2011)	97	---			X	
13	Mishra y col. (2012)	> 90	---			X	
14	Pereira y col. (2011)	95	ES	X		X	
15	Pourreza y col. (2014)	89.6 Valencia, 93.1 Hamlin	ES	X		X	
16	Pourreza y col. (2015)	95.5 a 98.5	ES	X		X	
17	Sankaran y Ehsani (2011)	> 80	---			X	
18	Sankaran y Ehsani (2013)	97	---			X	
19	Sankaran y col. (2010a)	> 90	---			X	
20	Sankaran y col. (2011)	95	---			X	
21	Sankaran y col. (2013)	87	ES	X		X	
22	Wetterich y col. (2012)	≈ 90	ES	X		X	
				12	1	17	1

ES: Espectral no visible; HS: Hiperspectral; MS: Multiespectral; RGB: Espectro visible; UAV: *Unmanned Aerial Vehicle*.

resultados de detección para HLB de 85 % para imágenes de UAV (Garcia-Ruiz y col., 2013), 86 % aéreas (Li y col., 2014) y 81 % satelitales (Li y col., 2015) no es significativa.

CONCLUSIONES

Ante el riesgo sanitario que representa el Huanglongbing (HLB), a la citricultura mundial, y al no existir por el momento un método que elimine por completo la enfermedad, su detección rápida y oportuna con consecuente eliminación del árbol,

son actualmente la única forma de evitar el establecimiento y dispersión de la enfermedad. Los métodos para la detección de HLB que utilizan fotografía aérea o satelital, permiten el monitoreo de grandes superficies, sin embargo, su precisión actual no es suficiente para adoptarlos como métodos oficiales y son costosos en función del número de bandas del espectro que utilizan. Por otro lado, los métodos que alcanzan precisiones similares a la prueba de PCR obtienen resultados en corto tiempo, pero requieren la cercanía

con el objeto de estudio, lo cual es un gran inconveniente, ya que los huertos tienen grandes extensiones. Por lo tanto, un sistema que considere el alcance amplio de los métodos de fotografía

aérea o satelital, con la validación a través de un método de detección de corto alcance, representa la mejor opción para una detección oportuna.

REFERENCIAS

- Aksenov, A. A., Pasamontes, A., Peirano, D. J., Zhao, W., Dandekar, A. M., Fiehn, O., ..., and Davis, C. E. (2014). Detection of Huanglongbing Disease Using Differential Mobility Spectrometry. *Analytical Chemistry*. 86(5): 2481-2488.
- Albrecht, U. and Bowman, K. D. (2008). Gene expression in *Citrus sinensis* (L.) osbeck following infection with the bacterial pathogen *Candidatus Liberibacter asiaticus* causing Huanglongbing in Florida. *Plant Science*. 175(3): 291-306.
- Amro, I., Mateos, J., Vega, M., Molina, R., and Katsaggelos, A. K. (2011). A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. 2011(1): 1.
- Bové, J. M. (2006). Huanglongbing: A destructive, newly emerging, century-old disease of citrus. *Journal of plant pathology*. 88: 7-37.
- Choi, D., Lee, W. S., and Ehsani, R. (2013). Detecting and counting citrus fruit on the ground using machine vision, in *ASABE*. [En línea]. Disponible en: <http://abe.ufl.edu/precag/pdf/2013DaeunASABE.pdf>. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2015.
- Deng, X. L., Li, Z., Deng, X. L., and Hong, T. S. (2014). Citrus disease recognition based on weighted scalable vocabulary tree. *Precision Agriculture*. 15(3): 321-330.
- Engel, T. and Reid, P. (2006). *Química física*. Madrid, España: Pearson Educación S.A. 1090 Pp.
- Ettxeberria, E., Gonzalez, P., Achor, D., and Albrigo, G. (2009). Anatomical distribution of abnormally high levels of starch in HLB-affected Valencia orange trees. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 74(1): 76-83.
- Futch, S., Weingarten, S., and Irey, M. (2009). Determining HLB infection levels using multiple survey methods in Florida citrus. In *Proceedings Florida State Horticultural Society*. 122: 152-157.
- Garcia-Ruiz, F., Sankaran, S., Maja, J. M., Lee, W. S., Rasmussen, J., and Ehsani, R. (2013). Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*. 91: 106-115.
- Gonzalez, P., Reyes-De-Corcuera, J., and Ettxeberria, E. (2012). Characterization of leaf starch from HLB-affected and unaffected-girdled citrus trees. *Physiological and molecular plant pathology*. 79: 71-78.
- Gonzalez, R. and Woods, R. (2008). *Digital Image Processing*. Estados Unidos: Pearson/Prentice Hall. 976 Pp.
- Halbert, S. E. (2005). The discovery of huanglongbing in Florida, in *Proceedings of the 2nd International Citrus Canker and Huanglongbing Research Work-shop*. [En línea]. Disponible en: http://freshfromflorida.s3.amazonaws.com/2nd_International_Canker_Huanglongbing_Research_Workshop_2005.pdf. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2015.
- Hawkins, S. A., Park, B., Poole, G. H., Gottwald, T., Windham, W. R., and Lawrence, K. C. (2010). Detection of Citrus huanglongbing by Fourier transform infrared-attenuated total reflection spectroscopy. *Applied spectroscopy*. 64(1): 100-103.
- Keremane, M. L., Ramadugu, C., Rodriguez, E., Kubota, R., Shibata, S., Hall, D. G., ..., and Lee, R. F. (2015). A rapid field detection system for citrus huanglongbing associated "Candidatus Liberibacter asiaticus" from the psyllid vector. *Diaphorina citri* Kuwayama and its implications in disease management. *Crop Protection*. 68: 41-48.
- Kim, D. G., Burks, T. F., Schumann, A. W., Zekri, M., Zhao, X., and Qin, J. (2009). Detection of citrus greening using microscopic imaging, in *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. [En línea]. Disponible en: <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1194/1226>. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2015.
- Kumar, A., Lee, W., Ehsani, R., Albrigo, L., Yang, C., and Mangan, R. (2010). Citrus greening disease detection using airborne multispectral and hyperspectral imaging, in *International Conference on Precision Agriculture*. [En línea]. Disponible en: http://128.227.177.113/pa/Publications/Kumar_Lee_Ehsani_Albrigo_Yang_Mangan_2010.pdf. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2015.
- Li, X., Lee, W. S., Li, M., Ehsani, R., Mishra, A. R., Yang, C., and Mangan, R. L. (2012). Spectral Difference Analysis and Airborne Imaging Classification for Citrus Greening Infected Trees. *Computers and Electronics in Agriculture*. 83(1): 32-46.
- Li, H., Lee, W. S., Wang, K., Ehsani, R., and Yang, C. (2014). Extended spectral angle mapping (ESAM) for citrus greening disease detection using airborne hyperspectral

imaging. *Precision Agriculture*. 15(2): 162-183.

Li, X., Lee, W. S., Li, M., Ehsani, R., Mishra, A. R., Yang, C., and Mangan, R. L. (2015). Feasibility study on Huanglongbing (citrus greening) detection based on WorldView-2 satellite imagery. *Biosystems Engineering*. 132: 28-38.

Mishra, A., Ehsani, R., Albrigo, G., and Lee, W. S. (2007). Spectral characteristics of citrus greening (Huanglongbing), in *Proceedings 2007 ASABE Annual Meeting*. [En línea]. Disponible en: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=24163>. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2015.

Mishra, A., Karimi, D., Ehsani, R., and Albrigo, L. G. (2011). Evaluation of an active optical sensor for detection of Huanglongbing (HLB) disease. *Biosystems Engineering*. 110(3): 302-309.

Mishra, A. R., Karimi, D., Ehsani, R., and Lee, W. S. (2012). Identification of citrus greening (HLB) using a VIS-NIR spectroscopy technique. *Transactions of the ASABE*. 55(2): 711-720.

Pereira, F. M. V., Milori, D. M. B. P., Pereira-Filho, E. R., Venâncio, A. L., Russo, M. D. S. T., do Brasil-Cardinali, M. C., ..., and Freitas-Astúa, J. (2011). Laser-induced fluorescence imaging method to monitor citrus greening disease. *Computers and electronics in agriculture*. 79(1): 90-93.

Pourreza, A., Lee, W., Raveh, E., Ehsani, R., and Etteberria, E. (2014). Citrus Huanglongbing detection using narrow-band imaging and polarized illumination. *Transactions of the ASABE*. 57(1): 259-272.

Pourreza, A., Lee, W. S., Ehsani, R., Schueller, J. K., and Raveh, E. (2015). An optimum method for real-time in-field detection of Huanglongbing disease using a vision sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*. 110: 221-232.

Robles-González, M. M., Velázquez-Monreal, J. J., Manzanilla-Ramírez, M. Á., Orozco-Santos, M., Medina-Urrutia, V. M., López-Arroyo, J. I., and Flores-Virgen, R. (2013). Síntomas del Huanglongbing (HLB) en árboles de limón mexicano [*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle] y su dispersión en el estado de Colima, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 19(1): 15-31.

Sankaran, S., Ehsani, R., and Etteberria, E. (2010a). Mid-infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing (greening) in citrus leaves. *Talanta*. 83(2): 574-581.

Sankaran, S., Mishra, A., Ehsani, R., and Davis, C. (2010b). A review of advanced techniques for detecting plant diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*. 72(1): 1-13.

Sankaran, S. and Ehsani, R. (2011). Visible-near infrared spectroscopy based citrus greening detection: Evaluation of spectral feature extraction techniques. *Crop Protection*. 30(11): 1508-1513.

Sankaran, S., Mishra, A., Maja, J. M., and Ehsani, R. (2011). Visible-near infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing in citrus orchards. *Computers and Electronics in Agriculture*. 77(2): 127-134.

Sankaran, S. and Ehsani, R. (2013). Detection of Huanglongbing-Infected Citrus Leaves Using Statistical Models with a Fluorescence Sensor. *Applied spectroscopy*. 67(4): 463-469.

Sankaran, S., Maja, J. M., Buchanon, S., and Ehsani, R. (2013). Huanglongbing (Citrus Greening) Detection Using Visible, Near Infrared and Thermal Imaging Techniques. *Sensors*. 13(2): 2117-2130.

Santivañez, T., Mora-Aguilera, G., Díaz-Padilla, G., López-Arrollo, J. I. y Vernal-Hurtado, P. (2013). *CITRUS. Marco estratégico para la gestión regional del Huanglongbing en América Latina y el Caribe*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 60 Pp.

SENASICA, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2015a). Situación fitosanitaria actual de HLB en México. SENASICA, en *Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. [En línea]. Disponible en: <http://www.senasica.gob.mx/?id=4608>. Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2015.

SENASICA, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2015b). Mapa de distribución de HLB en México. SENASICA, en *Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. [En línea]. Disponible en: <http://www.sinavef.gob.mx/MDF/>. Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2015.

Teixeira, D. D. C., Ayres, J., Kitajima, E. W., Danet, L., Jagoueix-Eveillard, S., Saillard, C., and Bové, J. M. (2005). First report of a Huanglongbing-like disease of citrus in Sao Paulo State, Brazil and association of a new Liberibacter species, "*Candidatus Liberibacter americanus*", with the disease. *Plant Disease*. 89(1): 107.

Wetterich, C. B., Kumar, R., Sankaran, S., Belasque Junior, J., Ehsani, R., and Marcassa, L. G. (2012). A comparative study on application of computer vision and fluorescence imaging spectroscopy for detection of Huanglongbing citrus disease in the USA and Brazil, in *Journal of Spectroscopy*. [En línea]. Disponible en: <http://www.hindawi.com/journals/jspec/2013/841738/>. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2015.



Tomado de: <https://pixabay.com/es/solarpark-de-parques-e%C3%B3licos-1288842/>

Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica

Prospective of wind and solar photovoltaic energy for electricity production

Aurelio Beltrán-Telles^{1*}

Mario Morera-Hernández²

Francisco Eneldo López-Monteagudo¹

Rafael Villela-Varela¹

¹Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Av. Ramón López Velarde núm. 801, Zacatecas, Zacatecas, México, C.P. 98060.

²CUJAE, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Departamento de Ingeniería, calle 114, núm. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, CUBA. C.P. 19390.

***Autor para correspondencia:**

atellesz@yahoo.com.mx

Fecha de recepción:

31 de mayo de 2015

Fecha de aceptación:

16 de agosto de 2016

RESUMEN

El incremento en el precio de los combustibles fósiles y los problemas de contaminación derivados de su quema, han provocado la intensificación del aprovechamiento de las energías renovables para producir energía eléctrica. El objetivo de este estudio fue estimar el desarrollo de las energías renovables solar-fotovoltaica y eólica en la generación de energía eléctrica, comparándola con la producida con combustibles fósiles. Se consultaron varios reportes, emitidos por organismos gubernamentales y no gubernamentales, sobre el consumo energético mundial, para producir energía eléctrica a base de combustibles fósiles y de energías renovables, sobre la problemática del cambio climático y las políticas establecidas para in-

corporar energías renovables en el portafolio energético mundial. Los resultados indicaron que las plantas de generación de energía eléctrica, a partir de energía eólica y solar-fotovoltaica, son competitivas respecto a las plantas que utilizan recursos fósiles. A corto plazo, se esperan leyes regulatorias, con sanciones por contaminación, para limitar los efectos en el cambio climático, lo que elevará el costo de producción de las plantas convencionales, favoreciendo el desarrollo de las plantas de energías renovables, principalmente la solar-fotovoltaica, la cual tiene el mayor crecimiento de las energías renovables.

PALABRAS CLAVE: energías renovables, energía solar fotovoltaica, energía eólica, energía eléctrica, costo.

ABSTRACT

The increase in the price of fossil fuels and the pollution problems arising from their burning has resulted in the intensification of the use of renewable energy sources to produce electricity. The purpose of this study was to estimate the development of solar photovoltaic and wind energy in electricity generation, compared to the generation produced with fossil fuels. Several reports issued by governmental and non-governmental bodies on global energy consumption to produce electricity from fossil fuels and from renewable energy sources, on climate change and on policies to incorporate renewable energy sources in the global energy portfolio were consulted. The results indicated that electric power from wind and solar photovoltaic energy generation plants are competitive with respect to the plants that use fossil resources. In the short run, regulatory laws that include pollution-related sanctions to limit the effects on climate change are expected to emerge. Such laws are likely to raise the cost of production of conventional plants, while favoring the development of renewable energy plants, mainly solar photovoltaic, which has the fastest growing renewable energy.

KEYWORDS: renewable energies, solar-photovoltaic energy, wind energy, electricity production, cost.

INTRODUCCIÓN

La población estimada a nivel mundial, en 2016, es de 7 mil 413 millones de personas y se espera que para el 2038 sea de 9 mil millones (WM, 2016). Este aumento poblacional presiona a las economías de los diferentes países a crecer para satisfacer las necesidades de sus habitantes; por ejemplo, China e India tienen proyectado un crecimiento del 5.5 % por año (Morales, 2014; BP3, 2016). El crecimiento poblacional y económico demanda el uso de energía, que proviene principalmente de los recursos energéticos fósiles (petróleo, gas, carbón), los cuales se han aprovechado por más de 100 años como fuente de calor, energía luminosa, combustible para vehículos y para generar energía eléctrica (INEEL, 2009; UK, 2009; DOE, 2013). Se considera que esta dependencia en los recursos fósiles provo-

cará finalmente su agotamiento (STATOIL, 2014). Un inconveniente adicional en el uso de estos recursos naturales, es que, al quemar los combustibles fósiles para producir energía, generan grandes cantidades de CO₂, principal gas de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico (IDEAM, 2007; BP, 2014; STATOIL, 2014); y se le considera una de las principales causas del cambio climático, por lo que cada vez se establecen políticas más restrictivas a nivel mundial en el uso de estos recursos (IEA-WOE1, 2013; IPCC, 2013; IPCC, 2014).

La energía eléctrica ha representado un desarrollo tecnológico de gran impacto en el crecimiento económico de la humanidad y actualmente constituye aproximadamente el 65 % de la producción de energía a nivel mundial. Sin embargo, aunque la instalación de plantas de generación de energía eléctrica a partir del petróleo, gas y carbón, pareciera bastante atractiva, al evaluar la inversión neta en este sector durante los últimos años, se observa que las inversiones en energía renovable para la generación adicional de energía eléctrica presenta un mayor incremento que las inversiones para generar más combustibles fósiles (IEA, 2012; IEA2, 2013; REN21, 2013; BP2, 2014; REN21, 2014). Algunas de las energías renovables consideradas, son: solar, eólica hidráulica, biomasa, biocombustibles, mareomotriz, geotérmica, hidrógeno y celdas de combustible, entre otras.

Existe especial interés en las energías solar y eólica, por encontrarse disponibles en mayor o menor medida en cualquier parte del mundo y porque su aprovechamiento permite un crecimiento económico sustentable que no se encuentra atado a la volatilidad del precio de los combustibles fósiles (Bimal, 2013; REN21, 2013; BP, 2014). Otro tipo de energía en desarrollo es la que proviene de los biocombustibles, pero existe la preocupación de que su uso provoque escasez y encarecimiento de los alimentos (Agüero- Rodríguez y col., 2015).

La generación de electricidad a partir de energía nuclear sigue siendo de gran importancia

actual, pero ha perdido interés prospectivo a nivel mundial, debido a la catástrofe ocurrida en Fukushima, Japón, en 2011, al dañarse algunos reactores nucleares, y la fuga de combustible radiactivo en uno de ellos, produciendo gran contaminación, daño ecológico y muertes; además de que refrescó la memoria del desastre de Chernóbil. Estos eventos provocaron que algunos países, entre ellos Alemania y principalmente el mismo Japón, establecieron políticas con la intención de eliminar los reactores nucleares, o políticas de seguridad mucho más restrictivas. Además, se propusieron objetivos para incorporar diferentes niveles de energía eléctrica a partir de la energía solar y eólica (IEA, 2012; Euro, 2013; IEA, 2014).

El acuerdo de la Convención Marco Sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC, por sus siglas en inglés United Nations Framework Convention on Climate Change), de París Francia, en 2015, y firmado en abril de 2016, va a impactar en el desarrollo de las energías renovables. En especial el objetivo 13, en donde los países que conforman las Naciones Unidas se comprometen a tomar medidas para combatir el cambio climático y sus efectos (CMCC, 2015). De esto, puede desprenderse, que las empresas que no hagan sus proyecciones con base en políticas de desarrollo sustentable, y utilicen tecnologías bajas en carbono para disminuir los gases de efecto invernadero, tendrán pérdidas financieras considerables (IEA5, 2014; CMCC1, 2016).

El objetivo del presente estudio fue determinar el desarrollo de las energías renovables solar fotovoltaica y eólica, en la generación de energía eléctrica, como fuentes alternativas a la energía obtenida mediante el uso de combustibles fósiles.

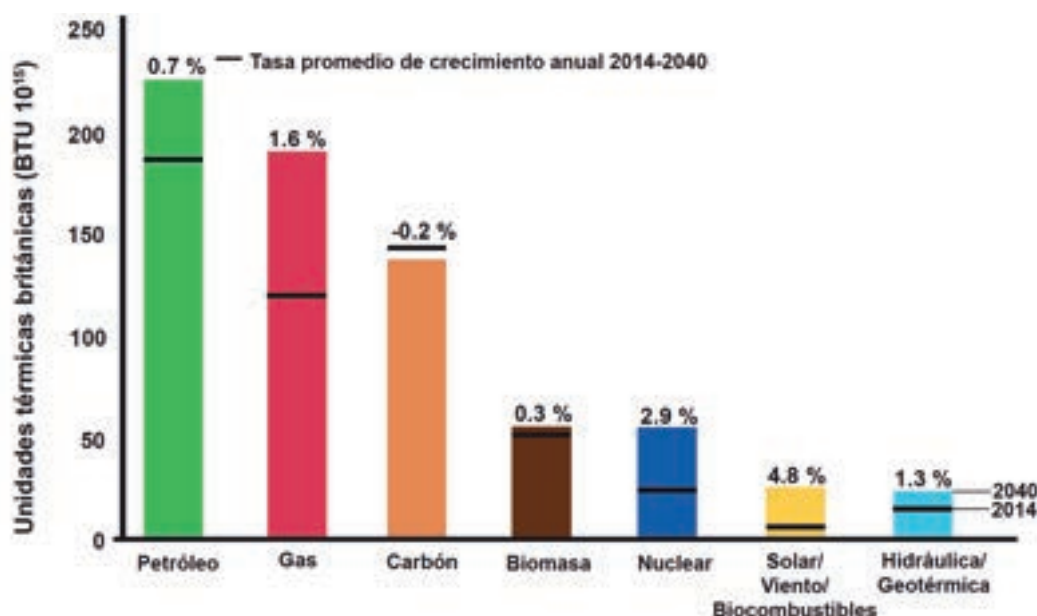
Consumo actual y prospectivo de energía a nivel mundial

Los combustibles fósiles atienden la demanda actual energética y se estima que abastecerán el 80 % de la demanda energética requerida en 2040, pero la perspectiva de su incremento en la generación de energía primaria (industria, transporte y otros), se considera será marginal desde el presente hasta el 2035 o 2040 (EM, 2016).

En la Figura 1 puede observarse una proyección del consumo energético en los próximos años. Se aprecia como el uso de gas continuará incrementando con una tasa anual de crecimiento del 1.6 % al 1.8 % al 2040, mientras que la del petróleo será del 0.8 %. El carbón tendrá un decremento, calculándose en el 0.2 %. Se estima que el petróleo, que actualmente satisface en promedio el 31 % del total energético requerido, pasará a satisfacer solo el 25 % de la energía consumida en 2040; por su parte, el uso del carbón pasará del 35 % en 2014 al 25 % en 2040, y el uso del gas incrementará del 21 % actual al 23 %; en tanto que las energías renovables que se utilizan actualmente en un 1 %, se estima que incrementarán 4.8 % en 2040. El porcentaje restante se distribuye en hidráulico, biomasa y nuclear (IEA2, 2013; IEA8, 2013; BP, 2014; BP2, 2014; STATOIL, 2014; EM, 2016).

En la actualidad, la generación de energía eléctrica requiere una gran cantidad de consumo de combustibles fósiles, generando un alto nivel de contaminación ambiental, que va en contra del conjunto de políticas elaboradas por diferentes agencias y estados, a nivel mundial, para mantener un escenario de incremento global de temperatura máximo de 2 °C. Estas políticas buscan también limitar la concentración de GEI en la atmósfera, en alrededor de 450 ppm (partes por millón) de CO₂ (Escenario 450), y están contenidas en el acuerdo Kioto y la UNFCCC (IEA-OECD1, 2013; IPCC, 2014). La creciente preocupación se debe a que la quema de combustibles fósiles es una de las actividades de los seres humanos que más contribuyen al cambio climático, debido a la emisión de GEI, lo que provoca cambios en la radiación solar entrante, la radiación infrarroja saliente y en las propiedades de la superficie de la tierra que alteran el balance de energía del sistema climático (INEEL, 2009; IPCC, 2014).

Para estudiar el cambio climático se han desarrollado diferentes prospectivas sobre su evolución, considerando las emisiones de gases de origen antropogénico de forzamiento radiativo, denominadas rutas de concentración represen-



■ Figura 1. Tasa de crecimiento anual estimada para satisfacer la demanda mundial de combustible al 2040, partiendo de los valores reportados en 2010 (EM, 2016).

Figure 1. Estimated annual growth rate to meet global demand for fuel by 2040, based on the values reported in 2010 (EM, 2016).

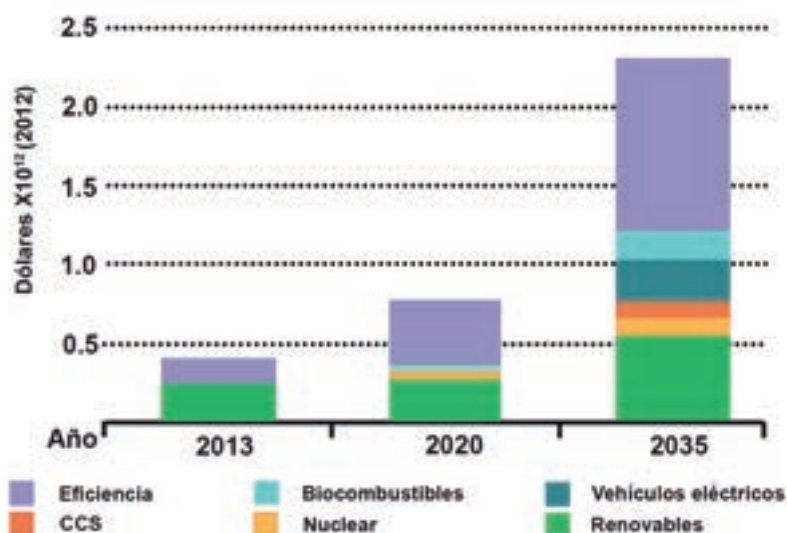
tativa (RCP, por sus siglas en inglés: Representative Concentration Pathways). Dentro de estas rutas se encuentra la RCP4.5, que es un escenario de mitigación, que considera alcanzar un nivel inferior de forzamiento radiativo de 4.5 Wm^2 , que equivale a 500 ppm, de donde se desprende el objetivo 450 ppm como valor factible de ser alcanzado (IPCC, 2014). Es en este escenario, donde el potencial de la energía solar para mitigar el cambio climático en el corto plazo (2020), como a largo plazo (2050), es excepcional, ya que sólo existe una pequeña cantidad de emisiones de CO_2 , procedentes de la fabricación de los dispositivos y construcción de la planta. Otro factor que puede impactar en reducir el cambio climático es el amplio desarrollo de los vehículos eléctricos, que tienen la capacidad de desplazar a los vehículos de combustión interna, y pueden utilizar la energía eléctrica generada de manera inmediata en la carga de las baterías, y con ello eliminar una gran fuente de contaminación (IEA, 2013; BP1, 2014).

En la Figura 2, se muestra la prospectiva global en investigación, hasta el año 2035, en tecnologías de bajo contenido de CO_2 . Se puede observar un incremento mayor en los recursos para

investigación en el área de energías renovables entre 2020 y 2035, comparado con lo mostrado en los años previos (BP, 2014; IEA-WEIO, 2014).

El papel de la energía solar puede pasar de ser un margen pequeño de contribución, como se considera actualmente, a llegar a ser la más importante fuente energética en el 2050, debido a que este tipo de energía tiene el potencial más amplio de todo el portafolio de energías disponibles, con un 40 % (IEA6, 2014; REN21, 2014).

La energía del viento o eólica, está basada indirectamente en la energía del sol. Una pequeña proporción de la radiación solar recibida por la Tierra, se convierte en energía cinética. La causa principal es el desequilibrio entre la salida de energía neta de altas latitudes y la entrada de energía neta a bajas latitudes. La rotación de la Tierra, características geográficas y gradientes de temperatura, afectan la localización y naturaleza de los vientos resultantes. El uso de la energía del viento requiere que la energía cinética se transforme en energía mecánica (movimiento de las aspas) y ésta en energía eléctrica, a través de generadores, para que llegue a ser útil (IEA-WOE1, 2013; IEA3, 2014).



■ Figura 2. Inversión mundial en tecnologías de bajo carbono y eficiencia energética en el escenario 450 (IEA-WEIO, 2014).

Figure 2. Global investment in low-carbon and energy efficient technologies in the 450 scenario (IEA-WEIO, 2014).

La energía eólica ofrece un gran potencial a corto plazo (2020) y largo plazo (2050) para la reducción de las emisiones de GEI (IEA1, 2013; IEA4, 2013). Existen diferentes tecnologías de energía eólica, disponibles en una amplia gama de aplicaciones; pero su principal uso, relevante para la mitigación del cambio climático, es la generación de electricidad a partir del viento, utilizando grandes turbinas conectadas a la red, ya sean desplegadas en tierra o en altamar (IEA4, 2013).

La tecnología para la conversión de la energía eólica en energía eléctrica se considera una tecnología madura y ampliamente utilizada a nivel mundial. Sin embargo, de acuerdo con el potencial disponible en todo el mundo, según los estudios, su uso se encuentra todavía en un nivel muy bajo (IEA3, 2014). La capacidad técnica para la producción mundial de energía eólica es superior al volumen actual de producción de electricidad. Se estima un potencial de generación de 19 400 TWh/a en tierra, que puede alcanzar un máximo de 125 000 TWh/a combinando su producción en tierra y cerca de la costa, aún considerando la existencia de posibles obstáculos que frenen su desarrollo (IEA4, 2013; IEA6, 2014).

Capacidad actual de generación de energía eólica-eléctrica instalada

La capacidad instalada para la generación de energía eólica-eléctrica se ha incrementado de manera gradual a partir de 2005 y se ha mantenido hasta 2015 (Figura 3a). Sin embargo, existe una fluctuación en la tasa de incremento anual, apreciándose tres periodos muy definidos (Figura 3b), el primero abarca de 2005 a 2009, en el que se presenta un incremento del 25.53 % hasta el 31.40 %. A partir de 2009, disminuye la tasa de crecimiento para alcanzar su valor mínimo en 2013, pasando de 31.40 % a 12.72 %. En los últimos dos años (2014 a 2015), la tasa de incremento en la capacidad instalada vuelve a mostrar tendencia positiva, alcanzando un valor favorable de 17.02 %, pero aún lejano del 31.4 % histórico registrado en 2009 (REN21, 2013; REN21, 2014; REN21, 2015; REN21, 2016).

La capacidad de generación de electricidad, a partir de la energía eólica, no está distribuida en forma homogénea. El 83.69 % de la capacidad está instalada en 10 países, en los que China es el principal generador, con una capacidad de producción de 144.83 GW (GigaWatts),

le siguen Estados Unidos (EE. UU.) (74.14 GW), Alemania (44.83 GW), India (25 GW), España (22.4 GW), Inglaterra (13.79 GW), Canadá (10.69 GW), Francia (9.48 GW), Italia (8.62 GW) y Brasil (8.62 GW). Esto significa que el resto de los países solo tienen una capacidad instalada de 70.6 GW, de los 433 GW a nivel mundial (IEA4, 2013; REN21, 2014; REN21, 2015; REN21, 2016). El 74.76 % de la capacidad de generación añadida en 2015 se concentró en cuatro países: China, Alemania, EE. UU. y Brasil, este último por segundo año consecutivo aparece entre los diez países con mayor capacidad instalada (EWEA, 2015; REN21, 2015; REN21, 2016).

En cuanto al desarrollo tecnológico, los 10 principales fabricantes de turbinas, que capturaron el 73.2 % de ventas del mercado mundial en 2015, frente al 77 % en 2012, se distribuyeron de la siguiente manera: China (5), Europa (4), y EE. UU. (1). En el 2015, China dominó el mercado con el 28 %, seguida por Dinamarca con 11.8 % y EE. UU. con un 9.5 % (REN21, 2015; REN21, 2016). En el 2015, la marca Goldwind obtuvo el primer lugar en ventas, con un 12.5 %, Vestas el segundo con el 11.8 %, GE Wind el tercero y Siemens obtuvo el cuarto lugar (REN21, 2014; REN21, 2015; REN21, 2016).

Capacidad de generación de energía fotovoltaica eléctrica instalada

La capacidad instalada de generación de electricidad a partir de la energía solar, usando paneles fotovoltaicos, incrementó de 5.1 GW en 2005 a 227 GW en 2015 (Figura 4) (REN21, 2013; REN21, 2014; REN21, 2015; REN21, 2016).

Los principales países productores de energía eléctrica, a partir de la energía solar fotovoltaica, en el periodo de 2009 a 2015, fueron: China, que pasó de generar 7 % de la producción mundial en 2012, ocupando el cuarto lugar; al 19.03 % en 2015, ubicándose en el primer sitio; Alemania obtuvo el primer lugar en 2009, generando el 47 % de la producción mundial; y en 2015 ocupó el segundo lugar con 18.6 %. En ese mismo año, Japón obtuvo el tercer sitio con 15.1 %; EE. UU., el cuarto con 11.27 %; Ita-

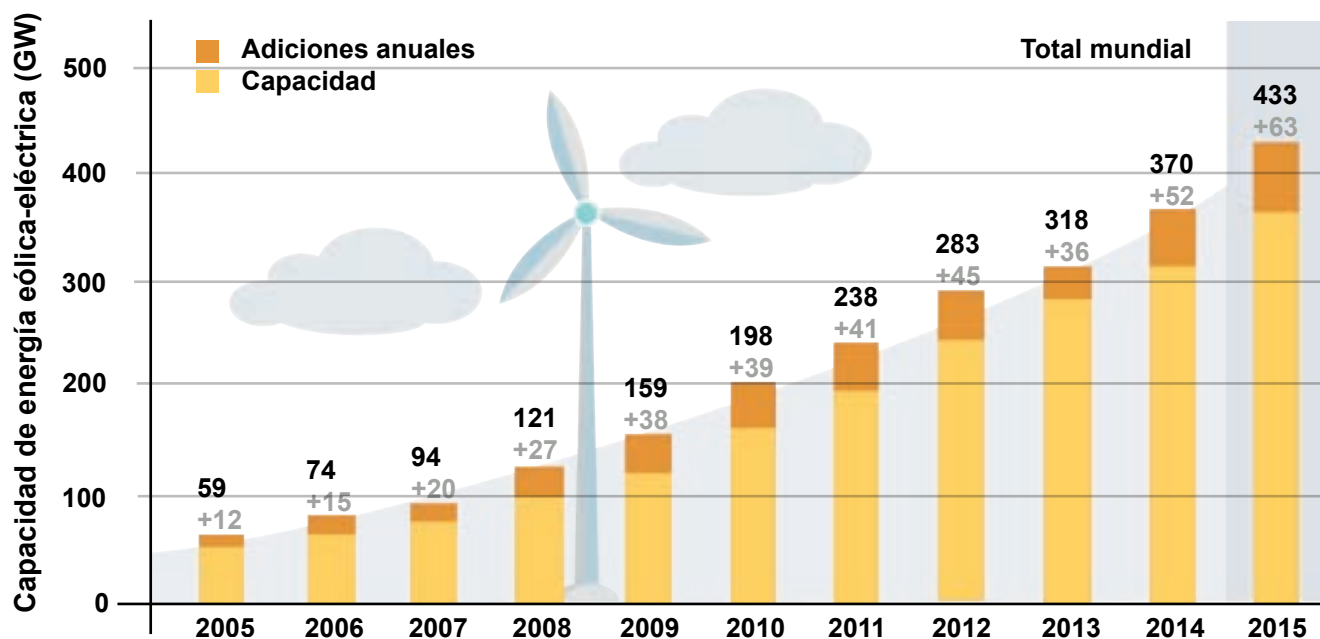
lia el quinto con 8.37 %; Reino Unido ocupó la sexta posición en 2015 con 3.9 %; seguida por Francia, España, Australia e India (IEA8, 2013; REN21, 2014; REN21, 2015; REN21, 2016). La capacidad de generación de energía fotovoltaica eléctrica, añadida en 2015, para los principales países, fue de: 43.2 GW en China; 34.3 GW en Japón; y 25.6 GW en EE. UU. (REN21, 2014; REN21, 2015). En 2014, la India apareció por primera vez entre los 10 países con mayor capacidad instalada (REN21, 2015; REN21, 2016). China dominó el mercado en 2014 con el 67 % del total mundial de producción de energía fotovoltaica eléctrica; seguida por Europa con el 8 %, en tercer lugar, Japón con 5.1 %. El cuarto lugar lo ha mantenido Canadá con un 4.6 %. Aunque no está representado en los 15 principales fabricantes, la India está aumentando la fabricación de una amplia gama de productos y componentes para sistemas solares, con el fin de alcanzar sus objetivos nacionales de energía (REN21, 2013; REN21, 2014; REN21, 2015).

En cuanto al desarrollo tecnológico, el 60 % del total de paneles solares fue producido en 2014 por 11 empresas, mencionadas en orden descendente por volumen producido: Trina solar (China), Yingli (China), Canadian Solar (China), Jinko Solar (China), JA Solar (China), Sharp (Japón), ReneSola (China), First Solar (EUA), Hanwha SolarOne (South Korea), Kyocera (Japón), y SunPower (EUA) (REWE, 2014; REN21, 2015).

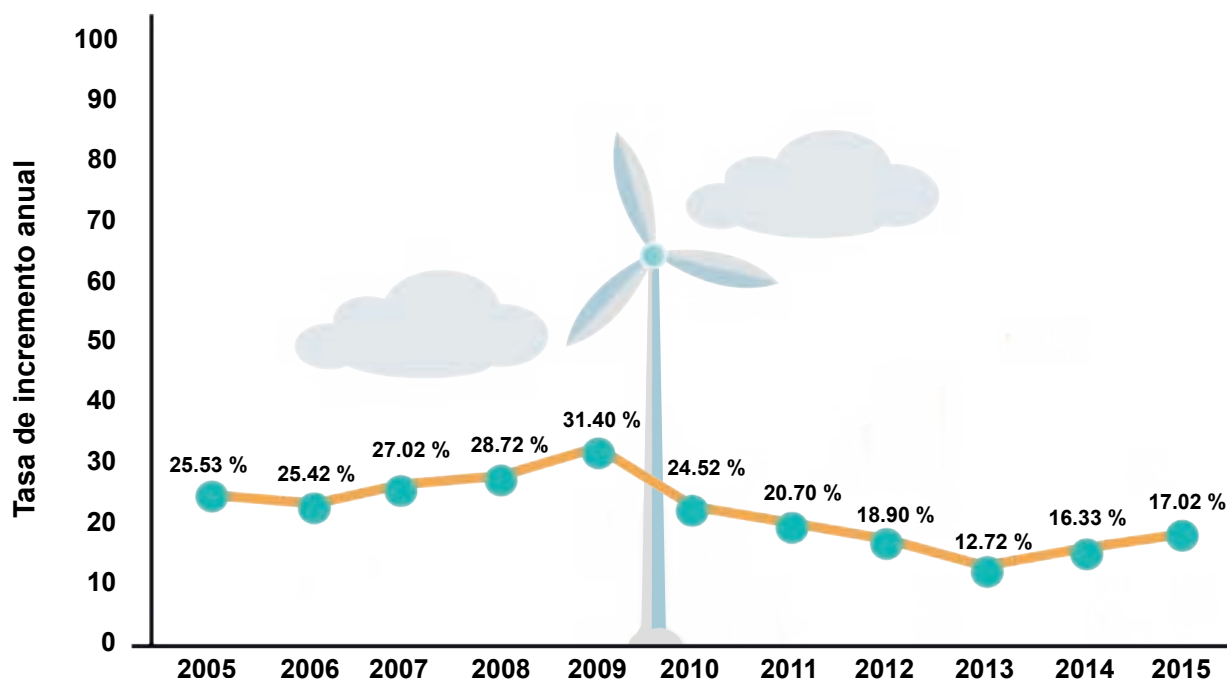
Costo de generación de la electricidad

El costo de producción de la energía eléctrica es un parámetro que puede permitir visualizar, en el futuro inmediato, qué tipo de plantas serán las que predominen. Para determinar el costo se realizan dos tipos de estudio, uno es el costo normalizado de la electricidad (CNE), el segundo, es el estudio del costo normalizado de la electricidad evitado en el proyecto de generación (CNEE). Se propone además un tercer estudio, que será el costo social normalizado de la electricidad (CSNE) (WEC, 2013; EIA, 2016).

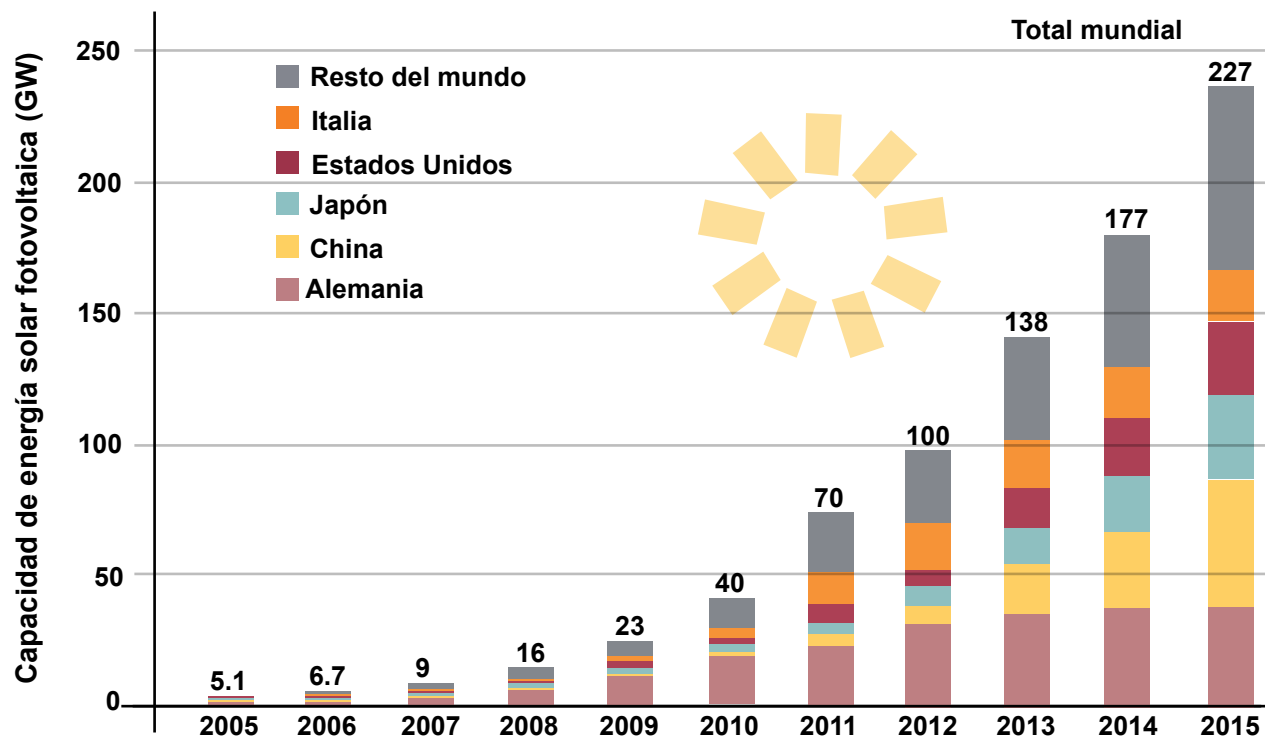
El estudio del CNE considera el costo (US\$/MWh) de construir y operar una planta de ge-



■ Figura 3a. Capacidad mundial de energía eólica-eléctrica y adiciones anuales, 2005 a 2015 (REN21, 2016).
Figure 3a. Power wind-electricity global capacity and annual additions, 2005 to 2015 (REN21, 2016).



■ Figura 3b. Tasa de incremento anual de la capacidad mundial de energía eólica-eléctrica.
Figure 3b. Annual increase rate of global wind-electricity power capacity.



■ Figura 4. Capacidad mundial solar fotovoltaica por país, 2005 a 2015 (REN21, 2016).

Figure 4. Solar PV global capacity by country, 2005 to 2015 (REN21, 2016).

neración de más de un ciclo de vida y el riesgo financiero asumido. Los insumos clave para calcular el CNE incluyen gastos de capital, costos de la materia prima utilizada, como carbón y gas natural (EIA, 2016), gastos de operación, mantenimiento, una tasa de utilización supuesta para cada tipo de planta y los ingresos, con lo cual se determina la viabilidad del proyecto. Mientras el estudio CNEE considera qué costos pueden ser evitados, considerando que cada país o región tienen variaciones. Por ejemplo, el costo del combustible en un país productor puede ser más barato que el costo que se debe pagar por transportarlo a otra región. Pueden existir estímulos fiscales para empresas que contribuyan en la mejora del medio ambiente o la planta que no necesita insumos, entre otros (EIA, 2016). Finalmente, se sugiere un tercer estudio que puede ser determinante para definir la viabilidad de un proyecto, el CSNE; en este estudio se considera además, incluir costos por la posibilidad de daño ecológico (WEC, 2013; EIA, 2016).

La Administración de Información de Energía de Estados Unidos desarrolló un modelo que genera los valores CSNE y CNEE, a partir de los resultados de estudios para plantas que se prevé predominen en los próximos 30 años y que funcionan con gas natural, carbón, energía solar fotovoltaica y eólica, tanto en tierra como en altamar (EIA, 2016).

En la Tabla 1, se presentan los resultados obtenidos, mediante este modelo, donde puede observarse como para el 2040 los costos de la energía eléctrica a partir de la energía eólica y solar, considerando tanto el CNE como CNEE son competitivos *vs.* carbón y gas natural. Sólo la eólica de altamar presenta diferencia importante entre ambos resultados.

Tecnologías en desarrollo para hacer más accesible la energía solar y eólica

La factibilidad de que las energías renovables, en especial la solar y eólica, puedan ser incorporadas en un volumen lo suficientemente gran-

de para impactar en la solución del problema energético a nivel mundial, puede visualizarse con base en un análisis del estado actual de la tecnología y los proyectos que sobre dichas energías tienen países, como: China, Alemania y EE. UU. para los próximos ocho años (DENA, 2013; SUNSHOT, 2014). Por ejemplo, uno de los objetivos que se han establecido, para el óptimo aprovechamiento de la energía solar, es el alcanzar una eficiencia en paneles fotovoltaicos del 20 % para el 2020, con costos que permitan su máxima rentabilidad. Actualmente, la empresa SunPower, una de las más importantes empresas fabricantes de paneles fotovoltaicos a nivel mundial, declara en la hoja de datos de sus paneles de la serie SPR-E20-327, una eficiencia del 24.7 %; en tanto que Yingli Solar, con su serie de paneles panda YL280C-30b, garantiza una eficiencia del 17.1 %, y Trina Solar, en su serie TSM-PC14, garantiza el 15.7 % de eficiencia. Estos rendimientos actuales son interesantes, porque hasta hace algunos años la eficiencia máxima promedio estaba entre el 12 % y 15 %, por lo que se espera que varios fabricantes superen ampliamente la eficiencia mínima requerida antes del 2020. Por otro lado, los equipos de electrónica de potencia, involucrados en la conversión, como son rectificadores, elevadores, reductores e inversores, presentan una gran variedad de topologías, las cuales se ven

mejoradas cada día, mejorando la calidad de la conversión y logrando interactuar de manera más eficiente con la red general de energía eléctrica o en microrredes. También se están fabricando dispositivos de última generación (MOSFET's, IGBT's, GTO's, entre otros), involucrados en el desarrollo de dichos equipos, con materiales como Carburo de silicio (SiC), con lo cual se puede tener un manejo de mayor densidad de energía y altas velocidades de conmutación (Ino, 2014). En el campo de la energía eólica, la tecnología se desarrolla considerando si los equipos se van a utilizar en tierra o altamar. Para plantas en tierra, el desarrollo se centra en el diseño de generadores más eficientes y en la longitud óptima de las palas, con los que se pueda obtener el máximo de energía para vientos de baja velocidad; usualmente se fabrican para potencias entre 2 MW y 3 MW. Para plantas en altamar, se ofrecen turbinas compactas de 2 MW a 3 MW, y se investiga en turbinas de 6 MW, que pueden ser instaladas en zonas de tifones, para aprovechar su energía potencial, ya que pueden soportar altas velocidades de vientos (WP, 2015).

La implementación de algoritmos de control automático es cada día más sofisticada, debido al desarrollo de dispositivos microprocesadores que manejan la información a muy altas veloci-

■ **Tabla 1. Costo estimado de la energía eléctrica (US\$/MWh) que se producirá en plantas que entrarán en operación en 2022 según la fuente de energía a utilizar.**

Table 1. Estimated cost of electric power (US\$/MWh) in plants that will start operating in 2022 according to the energy source to be used.

	CNE 2022			CNEE 2022	CNE 2040	CNEE 2040
	Mínimo	Promedio	Máximo	Promedio	Promedio	Promedio
Carbón	\$ 129.90	\$ 139.50	\$ 162.30	\$ 61.10	\$ 125.80	\$ 63.60
Gas natural ciclo combinado convencional	\$ 53.40	\$ 58.10	\$ 67.40	\$ 61.00	\$ 57.60	\$ 64.00
Gas natural ciclo combinado con tecnología de captura de carbono	\$ 78.00	\$ 84.80	\$ 93.90	\$ 61.00	\$ 81.10	\$ 64.40
Viento	\$ 43.00	\$ 64.50	\$ 78.50	\$ 56.50	\$ 58.80	\$ 58.80
Viento en altamar	\$ 137.10	\$ 158.10	\$ 213.90	\$ 61.20	\$ 133.70	\$ 64.60
Solar	\$ 65.60	\$ 84.70	\$ 126.20	\$ 67.10	\$ 65.50	\$ 70.70

Costos calculados a partir de los datos de EIA, 2016.

dades, lo que permite que las plantas de generación fotovoltaica y eólica, interactúen con la red eléctrica, monitoreando tanto la demanda de energía, así como la disponibilidad de esta en los diferentes puntos de consumo y generación, con lo cual se logra el máximo aprovechamiento de dichas energías, a pesar de su intermitencia (Smart, 2010).

Factores que limitan la expansión de las energías solar y eólica

Los factores que limitan la expansión de las energías solar y eólica se dividen en técnicas virtuales y políticas; entre las cuales destacan el alto costo inicial de la planta de generación y la necesidad de una autoridad responsable de equilibrar la oferta y la demanda en una zona geográfica determinada (redes inteligentes) (Luckow y col., 2015). En algunos países existen diferentes compañías que suministran la energía eléctrica, por lo que se hace necesario una coordinación entre estas. La construcción de plantas eólicas y solares debe contar con una normatividad clara, que determine los lugares donde está permitida su construcción, donde no sólo se maximice la producción de energía, sino que considere minimizar los impactos sobre la fauna, cuestiones visuales y otros aspectos. Lo anterior reduciría los tiempos de trámites de permisos y por lo tanto pérdidas económicas y de tiempo. También se deben identificar puntos clave, donde la red de transmisión necesitará expansiones en la próxima década, además de un estudio de pronósticos del fin de la vida útil de plantas de combustibles fósiles y las nuevas plantas añadidas de estos. Adicionalmente, se deben construir líneas de transmisión de alta tensión de corriente directa HVDC, para transmitir las energías renovables a los centros de población, ya que los análisis económicos indican ser factibles comparativamente con las líneas de corriente alterna. Existen también opiniones, que señalan que los altos niveles de penetración, de la generación de energía fotovoltaica en los sistemas de distribución, hacen que la red eléctrica sea vulnerable a fluctuaciones de la potencia real, calidad de la energía, cortes, cambios de voltaje y frecuencia (NREL, 2014). Sin embargo, un estudio realizado en 2015, por

las compañías General Electric y el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos, da a conocer que la red podría responder de manera oportuna y fiable, si la normatividad respecto a plantas de generación distribuidas, permite el uso de características avanzadas de los dispositivos de conversión (inversores) (NREL, 2015). Finalmente, la política de estado debe ser clara en sus objetivos de incorporación de las energías renovables y que estos no estén sujetos a incertidumbres, así como a los incentivos y precios de la energía producida.

CONCLUSIONES

El análisis de costos indica que la construcción de una planta de generación de electricidad, a partir de combustibles fósiles, sigue siendo una alternativa económicamente viable. Sin embargo, esta tecnología se enfrenta a los retos de la fluctuación de costos y la normatividad internacional para limitar los gases de efecto invernadero. Además, del agotamiento de estos recursos en un futuro no muy lejano. Por otra parte, los costos de inversión en una planta eólica, ubicada en una zona con velocidad de viento adecuada, pueden ser equiparables o menores que los requeridos para construir una planta convencional, especialmente considerando los incentivos actuales para esta actividad económica y que la tecnología para generar electricidad de origen eólico se considera madura, perfectamente establecida y utilizada en un nivel muy bajo respecto a su potencial. Por su parte, las plantas solares fotovoltaicas son competitivas, desde el punto de vista que no requieren combustibles para su funcionamiento, no están sujetas a las fluctuaciones de costos de estos, requieren poco mantenimiento y el análisis económico indica una pequeña diferencia en el costo de la energía producida, con respecto a dichas plantas. Costo que disminuye de manera constante, al mejorar la eficiencia de conversión de los paneles fotovoltaicos y la tecnología asociada a la incorporación de dichas energías a la red pública de distribución de energía. El establecimiento de leyes regulatorias, con sanciones por contaminación, para

limitar los efectos en el cambio climático, favorecerán el desarrollo de las plantas de energías

renovables, principalmente las fotovoltaicas, en el corto o mediano plazo.

REFERENCIAS

- Agüero-Rodríguez, J. C., Tepetla-Montes, J. y Torres-Beristáin, B. (2015). Producción de biocombustibles a partir de la caña en Veracruz, México: perspectivas y riesgos socio-ambientales. *CienciaUAT*. 9(2): 74-84.
- Bimal, B. K. (2013). Global energy scenary and impact of power electronics in 21st Century. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 60(7): 2638-2651.
- BP, British Petroleum (2014). Energy outlook 2035. [En línea]. Disponible en: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2015/bp-energy-outlook-2035-booklet.pdf>. Fecha de consulta: 6 de julio de 2014.
- BP1, British Petroleum (2014). Energy in 2013: Taking stock. [En línea]. Disponible en: http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/speeches/2014/energy_in_2013_taking_stock.pdf. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2014.
- BP2, British Petroleum (2014). Statistical review of world energy. [En línea]. Disponible en: http://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_de/PDFs/brochures/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2014.
- BP3, British Petroleum (2016). Energy Outlook 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016.pdf>. Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2016.
- CMCC, Convención Marco sobre Cambio Climático (2015). Aprobación del acuerdo París. [En línea]. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>. Fecha de consulta: 13 de mayo de 2016.
- CMCC1, Acción climática (2016). Las empresas que no se preparen para una economía baja en emisiones afrontarán pérdidas. [En línea]. Disponible en: <http://newsroom.unfccc.int/es/noticias/las-empresasno-preparadas-ante-los-riesgos-climaticos-tendran-perdidas/>. Fecha de consulta: 9 de junio de 2016.
- DENA, German Energy Agency (2013). Renewables-Made in Germany. [En línea]. Disponible en: http://www.renewables-made-in-germany.com/.../EMP12_121109.pdf. Fecha de consulta: 20 de mayo de 2015.
- DOE, U.S. Department of Energy (2013). Fossil energy study guide: Oil. [En línea]. Disponible en: http://energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/HS_Oil_Studyguide_draft2.pdf. Fecha de consulta: 30 de agosto de 2016.
- EIA, U.S. Energy Information Administration (2016). Levelized cost and levelized avoided cost of new generation resources in the annual energy Outlook 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/electricity_generation.pdf. Fecha de consulta: 27 de agosto de 2016.
- EM, Exxon Mobil (2016). The Outlook for energy: a view to 2040. [En línea]. Disponible en: <http://cdn.exxonmobil.com/~media/global/files/outlook-for-energy/2016/2016-outlook-for-energy.pdf>. Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2016.
- Euro, Euroserv'ER Report (2013). The State of Renewable Energies in Europe. [En línea]. Disponible en: http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan13-gb.pdf. Fecha de consulta: 26 de agosto de 2016.
- EWEA, European Wind Energy Association (2015). Wind in power 2014 European statistics. [En línea]. Disponible en: <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2014.pdf>. Fecha de consulta: 15 de mayo de 2015.
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático. [En línea]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befec11cf15f06dd>. Fecha de consulta: 30 de agosto de 2016.
- IEA, International Energy Agency (2012). Renewable energy coming of age, in *The Journal of the International energy Agency*. [En línea]. Disponible en: http://www.iea.org/media/ieajournal/IEAenergy_Issue2.pdf. Fecha de consulta: 20 de enero de 2013.
- IEA, International Energy Agency (2013). Global EV outlook understanding the electric vehicle landscape to 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVO Outlook_2013.pdf. Fecha de consulta: 14 de octubre de 2013.
- IEA, International Energy Agency (2014). Technology roadmap solar photovoltaic energy. [En línea]. Disponi-

ble en: https://www.iea.org/publications/freepublication/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf. Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2014.

IEA1, International Energy Agency (2013). Key world energy statistics. [En línea]. Disponible en: <http://www.iea.org/search/?q=%20Key%20World%20Energy%20Statistics#gsc.tab=0&gsc.q=%20Key%20World%20Energy%20Statistics&gsc.page=1>. Fecha de consulta: 17 de noviembre de 2013.

IEA2, International Energy Agency (2013). Technology roadmap carbon capture and storage 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.iea.org/search/?q=Technology%20Roadmap%20Carbon%20capture%20and%20storage%202013#gsc.tab=0&gsc.q=Technology%20Roadmap%20Carbon%20capture%20and%20storage%202013&gsc.page=1>. Fecha de consulta: 3 de julio de 2013.

IEA3, International Energy Agency (2014). Tracking clean energy progress 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Tracking_clean_energy_progress_2014.pdf. Fecha de consulta: 9 de diciembre de 2014.

IEA4, International Energy Agency (2013). Technology roadmap wind energy 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.iea.org/search/?q=Technology%20Roadmap%20Wind%20Energy%202013#gsc.tab=0&gsc.q=Technology%20Roadmap%20Wind%20Energy%202013&gsc.page=1>. Fecha de consulta: 3 de octubre de 2013.

IEA5, International Energy Agency (2014). Energy policy highlights. [En línea]. Disponible en: [http://www.iea.org/search/?q=%20IEA%20Statistics_b%20\(2013\)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries#gsc.tab=0&gsc.q=%20IEA%20Statistics_b%20\(2013\)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries&gsc.page=1](http://www.iea.org/search/?q=%20IEA%20Statistics_b%20(2013)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries#gsc.tab=0&gsc.q=%20IEA%20Statistics_b%20(2013)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries&gsc.page=1). Fecha de consulta: 6 de junio de 2014.

IEA6, International Energy Agency (2014). The power of transformation wind, sun and the Economics of Flexible Power Systems. [En línea]. Disponible en: [http://www.iea.org/search/?q=%20IEA%20Statistics_b%20\(2013\)%20Energy%20Statistics%20of%20Countries#gsc.tab=0&gsc.q=%20IEA%20Statistics_b%20\(2013\)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries&gsc.page=1](http://www.iea.org/search/?q=%20IEA%20Statistics_b%20(2013)%20Energy%20Statistics%20of%20Countries#gsc.tab=0&gsc.q=%20IEA%20Statistics_b%20(2013)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries&gsc.page=1). Fecha de consulta: 17 de julio de 2014.

IEA8, International Energy Agency (2013). Energy

statistics of OECD countries. [En línea]. Disponible en: [http://www.iea.org/search/?q=%20IEA%20Statistics_b%20\(2013\)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries#gsc.tab=0&gsc.q=%20IEA%20Statistics_b%20\(2013\)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries&gsc.page=1](http://www.iea.org/search/?q=%20IEA%20Statistics_b%20(2013)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries#gsc.tab=0&gsc.q=%20IEA%20Statistics_b%20(2013)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries&gsc.page=1). Fecha de consulta: 10 de enero de 2014.

IEA-OECD1, International Energy Agency (2013). Electricity in a climate-constrained world data and analysis. [En línea]. Disponible en: http://www.oecd-ilibrary.org/energy/climate-and-electricity-annual-2012_9789264175556-en. Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2013.

IEA-WEIO, International Energy Agency (2014). World energy investment outlook. [En línea]. Disponible en: [http://www.iea.org/search/?q=%20IEA%20Statistics_b%20\(2013\)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries#gsc.tab=0&gsc.q=%20IEA%20Statistics_b%20\(2013\)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries&gsc.page=1](http://www.iea.org/search/?q=%20IEA%20Statistics_b%20(2013)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries#gsc.tab=0&gsc.q=%20IEA%20Statistics_b%20(2013)%20Energy%20Statistics%20of%20OECD%20Countries&gsc.page=1). Fecha de consulta: 3 de agosto de 2014.

IEA-WOE1, International Energy Agency (2013). Redrawing the energy-climate MAP, executive summary world energy outlook special report. [En línea]. Disponible en: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013_Climate_Excerpt_ES_WEB.pdf. Fecha de consulta: 17 de agosto de 2013.

INEEL, Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (2009). La generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles. [En línea]. Disponible en: <http://www.ineel.mx/boletin042009/divulga.pdf>. Fecha de consulta: 29 de agosto de 2016.

Ino, K. (2014). New era of power electronics by SiC power devices evolution, 2014, in *International Conference on Planarization/CMP Technology (ICPT)*. [En línea]. Disponible en: <https://ecopyright.ieee.org/xplore/ie-notice.html>. Fecha de consulta: 22 de enero de 2015.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). Renewable energy sources and climate change mitigation 2012. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [En línea]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf. Fecha de consulta: 27 de agosto de 2016.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Mitigation of climate change 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf. Fecha de consulta: 16 de octubre de 2014.

Luckow, P., Fagan, B., Fields, S., and Whited, M. (2015). Technical and institutional barriers to the expansion of wind and solar energy. [En línea]. Disponible en: http://www.synapse-energy.com/sites/default/files/Barriers-to-Wind-and-Solar-15-047_0.pdf. Fecha de consulta: 15 de junio de 2016.

Morales-Ramírez, D. y Alvarado-Lagunas, E. (2014). Análisis del consumo de energía eléctrica domiciliar en Tampico, Tamaulipas. *CienciaUAT*. 8(2): 62-67.

NREL, National Renewable Energy Laboratory (2014). IEEE 1547 and 2030 standards for distributed Energy resources interconnection and interoperability with the electricity grid. [En línea]. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/63157.pdf>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2016.

NREL, National Renewable Energy Laboratory (2015). Advanced inverter functions to support high levels of distributed solar. [En línea]. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/62612.pdf>. Fecha de consulta: 25 de julio de 2016.

REN21, Renewable Energy Policy Network (2013). Renewable energy policy network for the 21st Century 2013. [En línea]. Disponible en: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_lowres.pdf. Fecha de consulta: 3 de septiembre de 2013.

REN21, Renewable Energy Policy Network (2014). Renewables global status report, 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf. Fecha de consulta: 16 de noviembre de 2014.

REN21, Renewable Energy Policy Network (2015). Renewables global status report, 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.Ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015-Onlinebook_low1.pdf. Fecha de consulta: 16 de agosto de 2015.

REN21, Renewable Energy Policy Network (2016). Renewables Global status report 2016. [En línea]. Disponible en: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report_REN21.pdf. Fecha de consulta: 9 de junio de 2016.

REWE, Renewable Energy World Editors (2014). Top 10 PV module suppliers for 2014: same group, different order. [En línea]. Disponible en: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/2014/12top-10-pv-module-suppliers-for-2014-same-group-difer.htmlferent-ord>. Fecha de consulta: 26 de agosto de 2015.

Smart, Oracle solutions for smart grid (2010). Technology and applications for your utility's future. [En línea].

Disponible en: <http://www.oracle.com/us/industries/utilities/solutions-smart-grid-br-194388.pdf>. Fecha de consulta: 30 de enero de 2016.

STATOIL, State oil and gas company (2014). Energy perspectives long-term macro and market Outlook. [En línea]. Disponible en: <http://www.statoil.com/no/NewsAndMedia/News/2014/Downloads/Energy%20Perspectives%202014.pdf>. Fecha de consulta: 12 de abril de 2015.

SUNSHOT, U.S. Department of Energy (2014). Tackling challenges in solar: 2014 portafolio. [En línea]. Disponible en: http://energy.gov/sites/prod/files/2014/08/f18/2014_SunShot_Initiative_Portfolio8.13.14.pdf. Fecha de consulta: 20 de mayo de 2015.

UK, Energy Research Centre (2009). Global oil depletion. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=depletion%20of%20oil%20reserves%20in%20the%20world%20pdf>. Fecha de consulta: 1 de septiembre de 2016.

WEC, World Energy Council (2013). World energy perspective cost of energy technologies. [En línea]. Disponible en: http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC_J1143_CostofTECHNOLOGIES_021013_WEB_Final.pdf. Fecha de consulta: 12 de mayo de 2013.

WM, Worldometers (2016). World population clock. [En línea]. Disponible en: <http://www.worldometers.info/world-population/>. Fecha de consulta: 14 de abril de 2016.

WP, Wind Power (2015). Ten of the biggest and the best manufacturers. [En línea]. Disponible en: <http://www.windpowermonthly.com/article/1352888/ten-biggest-best-manufacturers>. Fecha de consulta: 12 de marzo de 2016.