

Sociedades rurales, producción y medio ambiente



Revista semestral del Departamento de Producción Agrícola y
Animal de la UAM-X ISSN 2007-7556



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

38

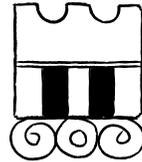
Diciembre 2019

Sociedades Rurales

Producción y Medio Ambiente

Sociedades Rurales

Producción y Medio Ambiente



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General
Dr. Eduardo Abel Peñalosa Castro

Secretario General
Dr. José Antonio de los Reyes Heredia

UNIDAD XOCHIMILCO

Rector
Dr. Fernando de León Gozález

Secretaria
Dra. Claudia Mónica Salazar Villava

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Director
Mtra. María Elena Contreras Garfias

Jefa del Depto. de Producción Agrícola y Animal
Dr. Rey Gutiérrez Tolentino

Director de la revista
Adolfo Álvarez Macías

COMITE EDITORIAL

Ciencias Agrícolas
Dr. Carlos H. Ávila Bello
Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria
Universidad Veracruzana

Dr. Rodolfo Figueroa Brito
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos
Instituto Politécnico Nacional

Dr. Daniel Ruiz Juárez
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Ciencias Pecuarias
Dr. Carlos Arriaga Jordán
Instituto de Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural
Universidad Autónoma del Estado de México

Dr. Luis Corona Gochi
Jefe del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Antonio Martínez García
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Calidad e Inocuidad de Productos Agroalimentarios
Dr. Arturo Camilo Escobar Medina
Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (Cuba)

Dr. Eduardo Morales Barrera, UAM-X
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Dra. Silvia D. Peña Betancourt
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Economía y Desarrollo Rural
Dra. Tamara Perelmuter
Instituto de Investigaciones Gino Germani (IIGG)
Universidad de Buenos Aires

Acuicultura y Pesca
Dr. Iván Gallego Alarcón

Diseño y formación
D. C. G. Mary Carmen Martínez Santana

Corrección
D. C. G. Amada Pérez

SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE.
Año 2019, número 38, Julio-Diciembre de 2019, es una publicación semestral de la Universidad Autónoma Metropolitana, a través de la Unidad Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Producción Agrícola y Animal. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Delegación Tlalpan, C.P. 14387, México, D.F., y Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, C.P. 04960, México, D.F., Tel. 54837231 y 54837230. Página electrónica de la revista: <http://srpma.xoc.uam.mx> y dirección electrónica: aalvarez@correo.xoc.uam.mx Editor Responsable Adolfo Álvarez Macías. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2011-081214583100-203, ISSN 2007-7556, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Índices de revistas a los que pertenece SRPMA: LATINDEX y PERIODICA. Responsable de la última actualización de este número: Mary Carmen Martínez Santana, asesor externo correo: macma_577@hotmail.com. Tamaño del archivo 4400 KB.

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

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

Suscripción anual (2 números)
México: \$220.00
Estados Unidos: \$50.00 USD
Centro América y Sudamérica: \$40.00 USD
Europa: \$60.00 USD

© 2000, Universidad Autónoma Metropolitana, D.R.

Índice

| | |
|--|-----|
| Editorial | 9 |
| Política de la revista | 13 |
| ARTICULOS CIENTÍFICOS | |
| Aptitud del paisaje para turismo de naturaleza y cambios de uso de suelo y vegetación. Estudio comparativo de 1994 y 2016 en Valle de Bravo, Estado de México <i>Vianney Lovera Pons, Pablo Torres Lima, Iván Ernesto Roldán Aragón y Jesús Sánchez Robles</i> | 15 |
| Paisajes bioculturales y alimentación: Estudio de caso del sur de Jalisco <i>Roberto Alexander Fisher Ortiz, Jesús Juan Rosales Adame, Peter R. W. Gerritsen, Claudia Irene Ortiz Arrona y Gerardo Alberto Hernández Cendejas</i> | 41 |
| Aprendizaje basado en problemas como tendencia de innovación curricular en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Colima <i>Edgar Fidel Lozano Salmorán, Omar Francisco Prado Rebolledo y Arturo César García Casillas</i> | 63 |
| ARTÍCULOS DE REVISIÓN | |
| Factores que influyen en la efectividad de la planeación ambiental <i>Marta Magdalena Chávez Cortés</i> | 81 |
| Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales <i>Aldo Bertoni Mendoza, Adolfo Gpe. Álvarez Macías y Daniel Mota Rojas</i> | 109 |

| | |
|---|-----|
| Relaciones entre el Estrés Oxidativo y la Salud <i>Guadalupe Prado Flores</i> | 131 |
| RESEÑA | |
| El sector lechero de pequeña escala en el Departamento de Caldas: estado actual, retos y modelo para la asistencia técnica universitaria. Universidad de Caldas <i>Alfredo Cesín Vargas</i> | 165 |
| Guía de autores | 171 |

Editorial

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* prosigue con su aparición regular desde el año 2000. Su publicación se inició en el Departamento de Producción Agrícola y Animal de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, primero en forma impresa y, en los últimos años, se ha venido consolidando como revista electrónica. En esa línea, la revista prosigue en el proceso de mejora continua de sus procesos editoriales, así como de economía, acorde a los tiempos de austeridad que vive nuestra Universidad y la economía nacional en su conjunto.

En los últimos números se han mantenido un mayor número de colaboraciones, a pesar de que esta medida ha propiciado retrasos en la aparición de la revista, pero ha permitido interaccionar con mayor número de autores y revisores y, en especial, ha implicado un acercamiento a los estándares de calidad que exigen los índices de revistas. En esa línea, siempre se han valorado las aportaciones comprometidas de autores, árbitros y editoras, así como el respaldo de la Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal, que han resultado esenciales en el proceso de mejora de la revista.

En este contexto, sigue abierta la convocatoria para que investigadores y estudiosos de diversas instituciones nacionales y del extranjero, y desde las diferentes disciplinas relacionadas al desarrollo de las sociedades rurales, producción y medio ambiente propongan aportaciones derivadas de sus investigaciones, que coadyuven a atender problemas tan relevantes como la pobreza rural, la inseguridad alimentaria, los bajos índices de productividad y sostenibilidad y el desarrollo desigual que ha resultado un obstáculo mayor al desarrollo agropecuario y agroalimentario. Por el contrario, existen opciones de abonar a las oportunidades que derivan del actual modelo de desarrollo, como los mercados orgánicos, las tecnologías agroecológicas y los nuevos hábitos de consumo, por mencionar algunos de los más relevantes.

En este número se vuelven a presentar siete contribuciones, las primeras tres corresponden a artículos de investigación, otras tres a artículos de revisión, y una reseña. En el primer artículo se abordan las transformaciones territoriales en el municipio de Valle de Bravo, y que al especializarse como centro turístico se ha generado sobreexplo-

tación y deterioro de sus recursos naturales y culturales, así como la centralidad de las actividades primarias. Se evaluó la aptitud del paisaje a partir del cambio en el uso del suelo y vegetación dado que ello disminuye la aptitud del municipio para el turismo. Aun cuando 56.2% de la superficie aún se encuentra cubierta por bosques templados, las zonas urbanas han aumentado el doble, por lo cual se proponen posibles escenarios de sustentabilidad a partir de la planeación integral del territorio y la gobernanza local.

En el segundo artículo, se examina la relación entre el manejo del paisaje y la alimentación en una comunidad del sur de Jalisco. Se diseñó un trabajo de campo en tres fases: primero, se caracterizaron prácticas, actores, historia y formas de manejo del paisaje local; en una segunda fase, se caracterizaron las unidades socioambientales del paisaje y los alimentos que se producen y, la tercera fase implicó un taller de retroalimentación de la comunidad con el equipo de investigación. Se identificaron seis unidades socioambientales, cinco de las cuales provén alimentos. La mayoría de las personas no utiliza una estrategia de uso múltiple para su alimentación, sin embargo, obtienen una mayor diversidad de alimentos. También se identificaron tres niveles de inseguridad-seguridad alimentaria, los que deben ser tratados de manera diferencial.

En el siguiente artículo se valora la operatividad del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) como estrategia didáctica en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad de Colima. Se identificó que la puesta en marcha del método resultaba ambigua y monótona debido a problemas de aprendizaje que, aunque apegados a la realidad, carecían de significado en las buenas prácticas de la enseñanza. Por ello, en este artículo se indagó sobre una posible adaptación de esta estrategia en torno a los argumentos históricos del ABP como tendencia de innovación curricular, metodología activa del ABP e innovación curricular y aproximación conceptual al diseño de problemas de aprendizaje en el ABP de la Facultad. Por último, se formuló una reflexión derivada de la presente revisión, así como de la experiencia de un contexto educativo particular.

En el cuarto artículo se discuten los procesos de planeación ambiental en la perspectiva de que sean efectivos en la práctica y abonen hacia la sustentabilidad. Para ello, se instrumentó una investigación documental sobre aspectos teóricos y prácticos relacionada con la solución de problemas ambientales. Los factores encontrados son de orden institucional y estructural, perceptual y conductual, político, económico y financiero, intelectual y ambiental. Los resultados indican que las actitudes y preferencias de los actores, la falta de voluntad política, además de las restricciones financieras, son los más influyentes en la efectividad de la planeación ambiental.

En la quinta contribución se propone una sistematización de información sobre los búfalos, analizando sus ventajas y desventajas como una opción para los productores de

las regiones tropicales. En la revisión de literatura sobre el tema, se privilegia la de carácter científico, y ahonda en las características fisiológicas, de alimentación y nutrición, genéticas y de reproducción, así como las de sus productos: carne y leche. Se detectaron ventajas en su proceso de adaptación a los hábitats complejos del trópico húmedo, aprovechando recursos forrajeros de baja calidad, facilidades de manejo, rendimientos competitivos respecto a los vacunos, y productos con potencial para valorarse en el mercado. Los búfalos son una opción para diversificar la producción ganadera, con generación de ingresos adicionales y que podrían favorecer el desarrollo regional del trópico húmedo.

En el último artículo de revisión se analiza la homeostasis óxido-reductora y cómo participa en el mantenimiento de la estructura y funcionalidad de los sistemas vivos. Las perturbaciones que exceden su capacidad regulatoria se conocen como estrés oxidativo, que generan alteraciones genéticas, bioquímicas y fisiológicas en los organismos. Se citan los principales agentes oxidantes, su naturaleza, su acción sobre el metabolismo celular y sus fuentes en la naturaleza. Se muestran evidencias de su efecto tóxico sobre ácidos nucleicos, proteínas y lípidos, y se dan ejemplos de patologías neurodegenerativas, cardiovasculares y metabólicas, ligadas a desregulaciones redox. También se muestran avances de sustancias y mecanismos utilizados en tratamientos profilácticos o terapéuticos.

Para cerrar este número, se presenta la reseña de un libro sobre el sector lechero de pequeña escala en el Departamento de Caldas, Colombia, reflexionando acerca del rol que debe tener la academia, con énfasis en la universidad pública y su compromiso social, ya que existen evidencias de que se ha distorsionado el espíritu de trabajo académico y se ha debilitado la articulación de la universidad con los sectores sociales o productivos. En una segunda parte, se examinan los procesos de planeación, ejecución, retos y problemas a los que se enfrentó una investigación aplicada que tuvo como objetivos mejorar la productividad, calidad e inocuidad de la producción de leche en el Departamento de Caldas, Colombia. De esta forma, se reflexiona sobre la misión de la universidad y su función de extensión.

Por último, se reitera que el proceso de mejora general en que está inserta la revista se mantendrá para que se logre el reconocimiento necesario que atraiga a nuevos autores y lectores, por tanto, son bienvenidas todas las sugerencias y observaciones que coadyuven en este proceso. A la vez, esta publicación está abierta a todas las propuestas académicas de calidad susceptibles de publicarse.

Adolfo Álvarez Macías
Director

Política de la revista

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* se mantiene vigente y cada vez más cerca de alcanzar la puntualidad en su publicación, gracias a la colaboración tanto de autores como de revisores. También se ha continuado con la mejora paulatina de los mecanismos de evaluación de los manuscritos que se presentan, y se han dinamizado los lapsos de respuesta a los autores, lo que nos acerca cada vez más a las características de una publicación de calidad susceptible de ingresar a los índices de revistas más relevantes del país.

Para ello, ha sido invaluable el impulso que ha brindado el Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, así como otras autoridades que están comprometidas con la misión de difundir los resultados de las investigaciones, como lo mandata su Ley Orgánica. De esta forma, se fomenta la divulgación de resultados de investigación de sus académicos, así como de todos los investigadores que lo consideren pertinente. Prueba de lo anterior es que la revista está por cumplir 20 años de vida.

Desde su origen, la revista se planteó con el objetivo central de comunicar y promover los avances en el desarrollo de las ciencias y campos de conocimiento asociados al estudio multidisciplinario de la producción y las transformaciones sociales, económicas, tecnológicas y ambientales en los territorios rurales, en el marco de un sistema alimentario mundial y regional, que no cesa de evolucionar y de marcar nuevos retos de investigación y análisis.

Las temáticas que se privilegian en esta publicación comprenden los procesos que inciden en la confección de los distintos modelos de producción agrícola, ganadera, silvícola, acuícola y pesquera, así como las actividades conexas al desarrollo rural y alimentario bajo los métodos de análisis y la aplicación del conocimiento biológico, ambiental, tecnológico y socioeconómico, privilegiando los enfoques interdisciplinarios. Así, la publicación comprende los cuerpos de conocimientos y métodos de las ciencias biológicas, sociales y ecológicas que tratan de explicar los problemas –científicos, tecnológicos, sociales y culturales– que enfrentan las sociedades en sus territorios rurales, la agricultura, los recursos naturales, la alimentación y el desarrollo regional. En ese marco, la revista sigue implicada en proponer análisis y discusiones que generen cada vez más, posibles alternativas de solución para problemas y retos locales, regionales, nacionales y globales.

De esta forma, Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente se orienta hacia la evaluación de la investigación de frontera y el nivel actual de la discusión entre disciplinas relacionadas con el objeto de estudio. Desde esa perspectiva, se pretende que las distintas contribuciones en la revista aborden la temática con rigor científico y con una visión humanista que brinde proyección y sentido a los resultados presentados. Se reitera que la política de la revista promueve la publicación de trabajos que aporten información inédita y original bajo las siguientes cuatro modalidades: i) Artículos de investigación, ii) Artículos de revisión y Notas de investigación, iii) Ensayos y revisiones bibliográficas y iv) Reseñas de libros y de eventos especializados. De esta forma, la publicación se mantiene como un campo abierto, crítico y constructivo que busca enriquecer las explicaciones científicas e interpretaciones que coadyuven al desarrollo rural, agropecuario, alimentario y regional, teniendo como principios rectores: la equidad, la sostenibilidad y la competitividad.

Aparte de las contribuciones individuales, también se viene fomentando la edición de números temáticos, desarrollados por grupos formales e informales de investigación, para el abordaje de objetos de estudio comunes bajo distintas ópticas analíticas, métodos de trabajo, e incluso disciplinas. Para los interesados en esta última opción se les invita a contactar a la dirección de la revista para coordinar de la mejor manera posible alternativas de este tipo.

En síntesis, esta revista se mantiene como una casa abierta para contribuciones del medio científico, tecnológico y del desarrollo que permitan fomentar y dar sustento al trabajo académico en beneficio la sociedad en su conjunto.

Finalmente, nos gustaría subrayar que esta revista está inscrita en LATINDEX, así como en PERIODICA, esperando en el futuro cercano avanzar en ese sentido.

Para mayor información sobre la publicación, favor de dirigirse a:
Adolfo Álvarez Macías, Director de la revista.

Edificio 34, tercer piso.
Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal.
Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, 04960, Ciudad de México.
Tels. 5483-7230 y 7231.
e-mail: aalvarez@correo.xoc.uam.mx.

La guía para autores puede consultarse en: <http://srpma.xoc.uam.mx>.

Aptitud del paisaje para turismo de naturaleza y cambios de uso de suelo y vegetación. Estudio comparativo de 1994 y 2016 en Valle de Bravo, Estado de México.

Vianney Lovera Pons,¹ Pablo Torres Lima,²
Iván Ernesto Roldán Aragón³ y Jesús Sánchez Robles.³

Resumen. El municipio de Valle de Bravo (VB) ha modificado su organización socio-territorial al convertirse en un centro turístico, con la expansión de viviendas y hoteles, la sobreexplotación y deterioro de sus recursos naturales y culturales, así como la pérdida de actividades productivas primarias. Se aplica el concepto de aptitud del paisaje para turismo de naturaleza (TN) porque es una actividad económica que conserva la calidad ambiental de estos recursos a largo plazo. Se evalúa entre 1994 y 2016, la aptitud del paisaje de VB para el TN a partir del cambio en el uso del suelo y vegetación (USyV). En este periodo, los cambios de USyV paulatinamente disminuyen la aptitud del municipio para el TN; la mayor parte del territorio presentó una aptitud media. Para 2016, la alta y media aptitud para el TN se redujeron en 2.1% y 7.4%, respectivamente; por otra parte la baja aptitud aumentó 9.5%. Si bien, 56.2% de la superficie aún se encuentra cubierta por bosques templados, las zonas urbanas han aumentado el doble, lo cual disminuye la aptitud del territorio para el TN. Se proponen consideraciones hacia escenarios de sustentabilidad a partir de la planeación integral del territorio y la gobernanza local.

Palabras clave: cambio de uso de suelo y vegetación, aptitud del paisaje, turismo de naturaleza, Valle de Bravo.

Abstract. The municipality of Valle de Bravo (VB) has modified its socio-territorial organization by becoming a tourist center, with the expansion of homes and hotels, the overexploitation and deterioration of its natural and cultural resources, as well as the loss of primary productive activities.

¹ Maestría en Ecología Aplicada, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: hechoenindonesia@gmail.com

² Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: ptorres@correo.xoc.uam.mx

³ Departamento el Hombre y su Ambiente (DEHA), Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: ieroldan@correo.xoc.uam.mx y jsanchez@correo.xoc.uam.mx

The concept of landscape aptitude for nature tourism (TN) is applied as it is an economic activity that preserves the environmental quality of these resources in the long term. The VB landscape aptitude for the TN is evaluated between 1994 and 2016 based on the change in land use and vegetation (USyV). In this period, USyV changes gradually decrease the municipality's aptitude for the TN; most of the territory presented a medium aptitude. For 2016, the high and medium aptitude for the TN were reduced by 2.1% and 7.4%, respectively; on the other hand the low aptitude increased 9.5%. Although 56.2% of the area is still covered by temperate forests, urban areas have increased twice as much, which decreases the ability of the territory to the TN. Considerations are proposed towards sustainability scenarios based on the integral planning of the territory and local governance.

Keywords: *land use and vegetation change, landscape aptitude, nature tourism, Valle de Bravo.*

INTRODUCCIÓN

Las ciencias de la sustentabilidad reconocen la importancia de evaluar variables ecológicas y sociales que integran procesos humanos a partir del USyV (Vallejos *et al.*, 2019). Al mismo tiempo, se reconoce la vigencia y pertinencia de abordar la disyuntiva entre crecimiento-desarrollo y protección ambiental. Una premisa a resolver consiste en la búsqueda del equilibrio entre los sistemas económicos, los sistemas biofísicos, el bienestar social y la calidad de vida de las personas, sobre todo cuando se busca obtener un valor económico de los servicios ecosistémicos (SE) recreativos, tales como el aprovechamiento de espacios y recursos forestales (Ortiz y Arévalo, 2014).

En particular, el turismo es considerado un fenómeno multisectorial de carácter social y cultural (Pérez *et al.*, 2011), que permite conocer los modos de vida de la sociedad en diferentes realidades y paisajes geográficos⁴ (Petroman *et al.*, 2013:); además posee un carácter económico y político capaz de contribuir al desarrollo regional sustentable, siendo uno de los principales componentes que se integran a los lineamientos, planes y políticas públicas (Karez, 2012). En las últimas décadas, se refiere que las actividades

⁴ Aquí se referirá al paisaje como la parte del territorio tal y como es percibida por la población, cuyo carácter es el resultado de la acción y la interacción de factores naturales y/o humanos. Y en la línea con la aplicabilidad al ordenamiento del territorio, la aptitud del paisaje se definirá como su capacidad productiva hasta el límite, en el cual puede producirse deterioro (Franch-Pardo y Cancer-Pomar, 2017).

turísticas han modificado los paisajes geográficos en el intento de producir más bienes y servicios, en virtud de que utilizan los recursos naturales sin dar tiempo a los ciclos y procesos naturales para su propia renovación (Dandapath y Mondal, 2013), particularmente al modificar el uso del suelo y la vegetación por inadecuadas prácticas turísticas locales o regionales.

Las dinámicas de cambio de USyV se encuentran interrelacionadas con procesos y tendencias regionales de transformación social y económica de los paisajes geográficos, así como con modos de vida de los pobladores locales (Wang y Liu, 2013), lo que en su conjunto en muchos casos conllevan a la extinción de las comunidades estrictamente rurales y campesinas (Zizumbo *et al.*, 2013), o bien, a cambios en los sistemas socioecológicos para transitar hacia la consolidación de paisajes residenciales (Cook *et al.*, 2012). Lo anterior, constituye uno de los problemas más urgentes a resolver en la planeación y ordenamiento territorial (Atik *et al.*, 2010: 21; Wang y Liu, 2013: 1119), ya que propiamente se modifica la biodiversidad y disminuyen los flujos de SE (Nahuelhual *et al.*, 2014).

El Turismo de Naturaleza (TN) se considera como una propuesta para mantener los paisajes y ecosistemas rurales y garantizar su conservación natural y cultural (Yanju y Jinyang, 2008). Asimismo, se le estima como una actividad económica y un servicio ecosistémico cultural en la medida que brinda beneficios a la sociedad con base en el desarrollo de actividades de bajo impacto (Ortiz y Arévalo, 2014); o bien, se le define como los viajes responsables que buscan conservar el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de la población local (De Esteban y Curiel, 2010). La primera información que se registra sobre el turismo de naturaleza en México proviene de los años 80. Sin embargo, a partir de 2001, la Secretaría de Turismo (Sectur) profundiza en el conocimiento del mismo, y lo define como las actividades recreativas en contacto directo con la naturaleza para la conservación de los recursos naturales y culturales, las cuales se agrupan en tres grandes segmentos; Ecoturismo, Turismo rural y Turismo de aventura (Sectur, 2006). De esta forma, los distintos tipos de TN quedan determinados por el tipo de actividades (Palomo *et al.*, 2013), las cuales se basan en el aprendizaje, así como en la conservación del entorno natural (Yanju y Jinyang, 2008).

No obstante, y a pesar de estas nuevas propuestas de TN, en las últimas décadas, a nivel nacional, se registra la expansión del turismo en lugares con recursos naturales, paisajes culturales y SE, que, en general, conllevan procesos de deterioro del entorno natural, modificando los modos de vida locales, sobre todo a partir de la clasificación de "Pueblos Mágicos" (Deverdun *et al.*, 2016). Un ejemplo de lo anterior es el Municipio de Valle de Bravo, Edo. de México, que en los últimos cincuenta años ha pasado de ser un municipio rural con una población campesina dedicada principalmente a la agricultura

a un centro turístico (Hernández *et al.*, 2011). Inicialmente, el proceso de cambio comenzó con la construcción de la presa en 1942, que gradualmente dio paso a la reubicación de los campesinos, los cuales al no contar con recursos financieros propios, optaron por vender sus tierras a un bajo precio (Sierra *et al.*, 2011; Zizumbo *et al.*, 2013). De esta forma, a finales de la década de los sesenta y principios de los setenta, se origina una profunda transformación territorial y nueva conformación del paisaje regional que impulsó las actividades turísticas como el principal eje de desarrollo económico (Zizumbo *et al.*, 2013).

La amplia diversidad de paisajes geográficos que conforman este municipio han ayudado a consolidar el turismo residencial como la principal actividad económica (Hernández *et al.*, 2011). Este tipo de turismo responde a una nueva forma de movilidad urbana regional que tiene importantes repercusiones ecológicas, económicas, urbanísticas, culturales, políticas y demográficas (Mikery y Pérez, 2014). Además, este turismo implica nuevos procesos de urbanización, así como dinámicas de movilidad y residencialidad de la población foránea, que han ocupado áreas territoriales con mayor vocación paisajística (Zizumbo *et al.*, 2013). Aun cuando algunos autores destacan la conservación de los recursos naturales y la importancia de los SE en el lugar, particularmente el ecoturismo, propios del municipio (Peñaloza *et al.*, 2011), en las últimas décadas, Valle de Bravo presenta un acelerado ritmo de urbanización y crecimiento habitacional (Deverdun *et al.*, 2016) que ha ocasionado la sobreexplotación del bosque (López *et al.*, 2011). Lo anterior, es confirmado porque cada unidad de gestión ambiental cuenta con diferentes grados de calidad ecológica, fragilidad ambiental, presión antropogénica y vulnerabilidad ambiental (Secretaría de Ecología, 2003).

En este sentido, es importante destacar que cualquier modalidad de turismo o cualquier proceso de reorganización socioterritorial requieren de la generación de conocimiento e información acerca de la aptitud que poseen los espacios geográficos, así como los SE con los que cuentan a fin de sostener el desarrollo de tales actividades (Pérez *et al.*, 2011).

En Valle de Bravo se han realizado algunos estudios sobre el turismo residencial, sin embargo, han quedado ausentes estudios sobre la valoración comparativa de la aptitud del paisaje para desarrollar dichas actividades. Del mismo modo, no se ha intentado relacionar la motivación de los visitantes. Este tipo de investigaciones sirven para detectar los criterios que emplean los turistas al momento de seleccionar un destino turístico (Yanju y Jinyang, 2008), con la finalidad de contribuir al diseño de estrategias y lineamientos que aseguren el manejo y la conservación de los propios recursos naturales (Pérez *et al.*, 2011). En el presente trabajo, se lleva a cabo un análisis comparativo multicriterio entre los años de 1994 y 2016, como un rango de referencia, con el objetivo

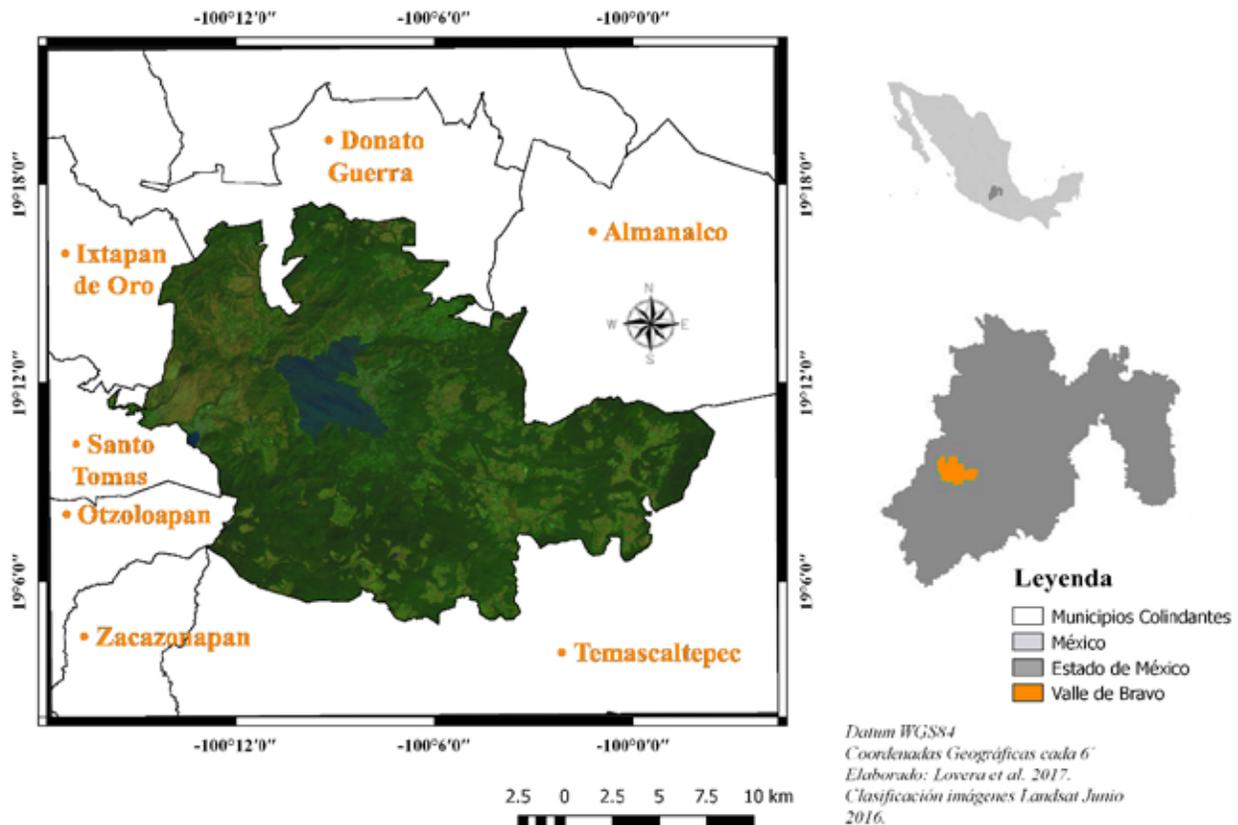
de valorar la aptitud que poseía el paisaje geográfico en el municipio de Valle de Bravo para desarrollar actividades relacionadas con el TN; asimismo, se evalúan la percepción, motivación y uso de los recursos naturales locales por los turistas. Finalmente, se formulan propuestas para el posible desarrollo territorial del propio municipio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Valle de Bravo, Estado de México, se encuentra a 96 km de la ciudad de Toluca y a 145 km de la Ciudad de México (Deverdun *et al.*, 2016), entre los paralelos 19° 03' y 19°18' de latitud norte y los meridianos 99° 57' y 100° 16' de longitud oeste, a una altitud de 1,200 y 3,100 msnm aproximadamente (INEGI, 2010). Tiene una extensión territorial de 421.95 km², que representa 1.87% del territorio estatal (Deverdun *et al.*, 2016) (Figura 1). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano y un rango de precipitación de 1,100 a 1,300 mm/año. La temperatura promedio anual es de 17.5°C, máxima de 32.0°C y la mínima de 1.3°C (INEGI, 2010). Los rasgos orográficos evidencian una morfología montañosa, con rocas metamórficas e ígneas (López *et al.*, 2011). Predominan los suelos de tipo Andosol, asociados generalmente con Luvisol, Leptosol, Vertisol, Regosol (INEGI, 2010). Debido a la variedad de suelos y relieve, la vegetación de la región es conformada por bosques de *Abies* (oyamel), *Pinus* (pino), *Quercus* (encino) y bosques mixtos de *Pinus-Quercus* (pino-encino), así como pequeños relictos de Bosque Mesófilo de Montaña y de Selva Baja Caducifolia (Conabio, 2008). Se encuentra en la Región Hidrológica del Río Balsas, dentro de la cuenca del Río Cutzamala. El Río Amanalco es el de mayor importancia por su caudal. Cuenta con 101 manantiales, 21 arroyos, 3 bordos y 7 acueductos (Ayuntamiento Constitucional de Valle de Bravo, 2013a).

Figura 1. Ubicación geográfica del Municipio de Valle de Bravo, Estado de México



Fuente: Elaboración original.

La tasa de crecimiento poblacional fue de 2.42%, al pasar de 36 134 habitantes en 1990 a 65 703 en 2015, con una densidad poblacional de 154 hab/km². En ese mismo año, la distribución de la población del municipio fue desigual: poco más de 50% de su población se concentró en la cabecera municipal y en la Villa de Colorines (Ayuntamiento Constitucional Valle de Bravo, 2016). Asimismo, se observa que para esos años el grado de marginación social en el municipio era bajo (INEGI, 2010). Para el 2015, contaba con 586 habitantes de cinco grupos étnicos. El grupo con mayor población es el Mazahua, que representaba 76% de la población total indígena, le seguía el Otomí y el Náhuatl con 8% y 4%, respectivamente (Ayuntamiento Constitucional de Valle de Bravo, 2019).

En 1990, el sector terciario comprendió 53% de la población económicamente activa (PEA), el secundario 33% y el primario 13.9% (Ayuntamiento de Valle de Bravo, 2006).

Durante 2015, 61.5% de la PEA se ocupaba en el sector terciario, principalmente en actividades turísticas; 26.2% en actividades secundarias, dirigidas principalmente a la elaboración de productos artesanales, así como a la agricultura de subsistencia, y sólo 10.3% se dedica a actividades primarias (Ayuntamiento Constitucional Valle de Bravo, 2016).

El Municipio es reconocido como uno de los destinos turísticos con mayor afluencia en el Estado de México (Zizumbo *et al.*, 2013). Su infraestructura es suficiente para recibir a turistas sin importar su nivel socioeconómico. En 2013, se estimó una afluencia turística de 2104707 visitantes, con la siguiente distribución: turistas nacionales 10.8%; turistas extranjeros 3.2%; residentes de fin de semana 81%, y excursionistas 5%. Se tiene un registro de visitantes por pernocta anual de 227590.48 con una estadía promedio de 2 noches. Por hospedaje y alimentos, la derrama anual asciende a 229 millones de pesos (Ayuntamiento Constitucional Valle de Bravo. 2013b).

Cartografía y Dinámica de Cambio de Usos del Suelo y Vegetación

Conforme a los procesos de urbanización intensivos entre los años noventa y 2010, se utilizaron sub-escenas de dos imágenes satelitales Landsat de la zona de Valle de Bravo, de julio de 1994 (Pat-Row 27-47) y junio de 2016 (EarthExplorer, 2016), capturadas por los satélites Landsat 5 y Landsat 8, respectivamente, con una resolución espacial de 30 m. La leyenda de trabajo se constituyó por 12 clases, conforme a la clasificación de USyV utilizada por INEGI (2014). El método de clasificación para la elaboración de los mapas correspondientes fue supervisado (Chuvieco, 2002). La fiabilidad de la clasificación de 1994 fue obtenida mediante comparación de puntos procedentes de fotografía aérea, escala 1:75,000 de 1994 (INEGI, 1994); mientras que para 2016 se obtuvieron puntos de control en la zona de trabajo, comparados con imágenes del programa Google Earth para Valle de Bravo 2010 y 2005.

La dinámica de cambio fue generada mediante el cruce de los mapas de USyV de los años mencionados, proceso que fue implementado en el módulo de modelado de cambios del suelo (Land Change Modeler) del software IDRISI (Eastman, 2012). A partir de la matriz de cambio, se obtuvo la persistencia total por clase, pérdidas, ganancias, cambio neto y dirección de cambio. Para obtener la tasa de cambio de cada clase se utilizó la siguiente ecuación de la FAO (2007), que expresa el cambio en porcentaje por año:

$$\delta n = [S_2/S_1]^{1/n} - 1$$

Dónde: δn = tasa de cambio, S_1 = Superficie en la fecha 1, S_2 = Superficie en la fecha 2, n = Número de años entre las dos fechas.

Diseño y aplicación de cuestionarios

Se elaboró una encuesta a turistas que visitaban el municipio con el objetivo de conocer cuáles eran los lugares de su preferencia. De esta forma, se obtendrían los criterios para elaborar los mapas de aptitud para el TN. La selección de la muestra poblacional fue de tipo no probabilístico (Otzen y Manterola, 2017). Se realizaron 118 encuestas a personas con un rango de edad de 15 a 75 años que paseaban por el municipio durante junio a agosto de 2016. El diseño de las encuestas incluyó cuatro secciones: 1) Breve explicación sobre el turismo de naturaleza y su importancia; 2) Preguntas sociodemográficas; 3) Preguntas abiertas destinadas a personas que ya habían visitado el Municipio; ello con el propósito de determinar cambios en el municipio e identificar el nivel de importancia que otorgan a los recursos naturales, y 4) Preguntas acerca de las preferencias turísticas dentro del municipio, a fin de obtener los criterios para el análisis de aptitud del paisaje para TN.

Análisis Multicriterio para el Turismo de Naturaleza

El primer paso consistió en identificar la aptitud del paisaje que presentaba el municipio para el TN entre 1994 y 2016. A partir de las encuestas se identificaron los criterios, tanto factores como restricciones (Eastman, 2012). En la Tabla 1 se presentan el tipo y forma de la función de membresía, los umbrales de las reglas de decisión y el peso asignado a cada factor. Las reglas de decisión aplicadas se presentan a continuación: A) Carreteras y brechas; entre 500 y 1000 metros, que es una distancia adecuada a las vías de comunicación (mayor aptitud) para apreciar la naturaleza alejado de los ruidos; B) Pendientes; deben ser suaves para que personas con distinta capacidad física puedan caminar fácilmente (mayor aptitud en inclinaciones menores o iguales a 15%); C) Lugares turísticos; sitios que las personas pueden visitar con el fin de contemplar la naturaleza y aprender de su cultura (i.e. museos, parques, templos y mirador); D) Elevación; una altitud adecuada entre 1,500 y 1,900 msnm (mayor aptitud), donde se puede contemplar el paisaje sin que el organismo humano presente estragos; E) Distancia a ríos; que se puedan escuchar y contemplar a una distancia de 15 m; F) Distancia a cuerpos de agua; que se puedan apreciar a una distancia de 15 m; G) Las áreas naturales protegidas (ANP); se consideraron las más concurridas por los turistas, particularmente la Reserva estatal de Monte Alto y el Parque Ecológico Velo de novia; a cada espacio se les asignó un valor de 250; G) Temperatura; la más agradable para los turistas es la temperatura media anual, entre 16 y 18 °C; H) Usos del Suelo y Vegetación; a cada una de las clases se le asignó un nivel de

aptitud; I) Veredas; caminos para recorrer y contemplar el paisaje, una distancia de 0 a 50 m (mayor aptitud); J) Rendimiento hídrico, valores entre 15 m³ y 390 m³ (mayor aptitud), con sitios rodeados de cobertura forestal.

La ponderación de los criterios (factores) se obtuvo a través de la comparación pareada de los mismos (Saaty, 1980), para ello se consultó la opinión de tres expertos en el tema de turismo en el Municipio, quienes fueron: 1) el Director de turismo; 2) el Director del Área Natural Protegida: Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec; y 3) Empresa turística de parapente y alas delta. Por último, se integró el nivel de aptitud de cada pixel y el peso correspondiente de cada criterio a partir de una suma lineal ponderada (Eastman, 2012).

Tabla 1. Criterios-Factores para el turismo de naturaleza

| RESTRICCIONES | | | |
|--|--|--|---------------|
| Criterio | Regla de decisión | | |
| Clases de usos del suelo y vegetación | Usos del suelo y vegetación donde no es conveniente practicar el TN, como pastizales, cultivos de temporal y de riego y asentamientos humanos con cultivos | | |
| Área No Municipal | Áreas fuera de los límites municipales | | |
| FACTORES | | | |
| Criterio | Tipo y forma de la función de membresía | Regla de decisión | Peso asignado |
| Carreteras y brechas (INEGI, 2015; 1998) | Lineal Simétrica | a = 0.0m, b =500m c =1000m, d = 7568m | 0.0437 |
| Pendiente (%) (INEGI, 2015; 1998) | Monótonamente Decreciente Sigmoidal | c= 15 % y d = 72% | 0.0376 |
| Lugares turísticos (INEGI, 2015; 1998) | Planos Categóricos | Distancia más cercana | 0.1263 |
| Elevación (msnm) (INEGI, 2015; 1998) | Lineal Simétrica | a=935, b=1500, c=1900, d=3500 | 0.0976 |
| Cuerpos de agua (INEGI, 2015; 1998) | Monótonamente Decreciente | c= 15 y d=1000 | 0.0560 |

| | | | |
|---|-------------------------------------|--|--------|
| Sitios donde pasan los ríos (INEGI, 2015; 1998) | Monótonamente Decreciente Sigmoidal | c= 15 y d=150 | 0.1498 |
| ANP (INEGI, 2015; 1998) | Plano Categórico | Polígonos de los Parques | 0.1534 |
| Temperatura (°C) (INEGI, 2015; 1998) | Simétrica Sigmoidas | a=10, b=16, c=18, d=27 | 0.1030 |
| Usos de suelo 2016; 1994 (Lovera <i>et al.</i> , 2018) | Plano Categórico | Valores de Aptitud mínimos de 10 y valores máximos de 250. Zonas Urbanas =10, Zonas Urbanas con Vegetación y Asentamientos con Agricultura =20, Selva baja Caducifolia =60, Pastizales y Cultivos =100 y Bosque templado =250 | 0.0738 |
| Veredas (INEGI, 2015; 1998) | Monótonamente Decreciente Sigmoidal | C = 50 y d = 2000 | 0.0554 |
| Rendimiento hídrico 2016-1994 (Lovera <i>et al.</i> , 2018) | Lineal Simétrica | a = 0 m ³ , b = 15m ³ , c = 390m ³ , d = 1200m ³ | 0.1034 |

Fuente: Elaboración original.

Nota: para la definición de valores de aptitud nos basamos en la interpretación del modelo del método indirecto y cuantitativo, por considerarlo afín al propósito de incorporar estos estudios en las políticas de gestión territorial, particularmente en las mexicanas. Se trato de evaluar el paisaje según una determinada estimación objetivable de determinados parámetros con incidencia paisajística; es decir, analizar el territorio o aquellos espacios y áreas desde variables que son más accesibles de visualizar desde cada punto o conjunto de puntos (variables ambientales importantes que, por su naturaleza, dimensiones o temporalidad son observables *in situ*) tal y como los refiere Franch-Pardo y Cancero-Pomar (2017).

RESULTADOS

Cambios de uso de suelo 1994-2016

La fiabilidad de los mapas en el tiempo T1 y T2 fue de 72% y 87%, respectivamente. Dadas las numerosas direcciones de cambio obtenidas entre 1994 y 2016, y con la finali-

dad de facilitar el análisis, éstas fueron agrupadas en 10 clases de cambio: tres de ellas incluyeron las áreas persistentes; otras abarcaron los cambios donde se presentó una recuperación de la cobertura vegetal; dos más para aquellas que tuvieron una dirección de cambio hacia coberturas transformadas, como agricultura y pastizal y, finalmente, cuatro clases con cambios hacia zonas urbanas y/o asentamientos humanos (tabla 2).

Tabla 2. Grupos de clases de cambio de USyV 1994 y 2016, Municipio de Valle de Bravo

| Bosque | | Cultivos y Pastizales | | Zonas Urbanas | |
|--|-----------------------|--|-----------------------|---|------------------------------|
| 1994 | 2016 | 1994 | 2016 | 1994 | 2016 |
| 1) Persistencia de áreas con vegetación | | 2) Persistencia de áreas de pastizales y agricultura | | 3) Persistencia de áreas urbanas | |
| Bosque | Bosque | Pastizales | Pastizales | Zonas urbanas | Zonas urbanas |
| Vegetación Secundaria | Vegetación Secundaria | Cultivo R | Cultivo R | Vegetación urbana | Vegetación urbana |
| Selva Caducifolia | Selva Caducifolia | Cultivo T | Cultivo T | 4) Cambios de áreas con vegetación a vegetación de áreas urbanas y asentamientos con agricultura | |
| 7) Cambios de agricultura y pastizal a áreas con vegetación | | 5) Cambios áreas con vegetación a pastizales y cultivos | | | |
| Vegetación Secundaria | Bosque | Bosque | Vegetación Secundaria | Bosque | Vegetación urbana |
| Pastizales | Bosque | Bosque | Pastizales | Bosque | Asentamientos Cultivo R |
| Pastizales | Vegetación Secundaria | Bosque | Cultivo R | Bosque | Asentamientos Cultivo T |
| Cultivo R | Bosque | Bosque | Cultivo T | Vegetación Secundaria | Asentamientos Cultivo R |
| Cultivo R | Vegetación Secundaria | Vegetación Secundaria | Pastizales | Vegetación Secundaria | Asentamientos Cultivo T |
| Cultivo R | Selva | Vegetación Secundaria | Cultivo R | 6) Cambios de áreas con vegetación a áreas urbanas | |
| Cultivo T | Bosque | Vegetación Secundaria | Cultivo R | Bosque | Zonas urbanas |
| Cultivo T | Vegetación Secundaria | Vegetación Secundaria | Cultivo T | Bosque | Zonas urbanas con Vegetación |
| | | Selva Caducifolia | Pastizales | Vegetación Secundaria | Zonas urbanas |

| | | 8) Cambios entre áreas agropecuarias | | 9) Cambios de agricultura y pastizales a asentamientos humanos y áreas urbanas | |
|--|--|--------------------------------------|------------|--|------------------------------|
| | | Pastizales | Cultivo R | Pastizales | Zonas urbanas |
| | | Pastizales | Cultivo T | Cultivo R | Zonas urbanas |
| | | Cultivo R | Pastizales | Cultivo R | Zonas urbanas con Vegetación |
| | | Cultivo T | Pastizales | Cultivo T | Zonas urbanas |
| | | Cultivo R | Cultivo T | Asentamientos | Zonas urbanas |
| | | Cultivo T | Pastizales | Asentamientos | Zonas urbanas con Vegetación |
| | | | | 10) Cambios de agricultura a asentamientos humanos con agricultura | |
| | | | | Cultivo R | Asentamientos con Cultivo R |
| | | | | Cultivo R | Asentamientos con Cultivo T |
| | | | | Cultivo T | Asentamientos con Cultivo R |
| | | | | Asentamientos | Asentamientos con Cultivo T |

Fuente: Elaboración original.

A partir de la cartografía generada de USyV, se pueden observar que para el año de 1994 los Bosques Templados predominaban, seguidos por la agricultura (temporal y riego) que ocupaba parte del municipio; la vegetación secundaria era la tercera clase más extensa y la Selva Baja Caducifolia la de menor superficie. En el año 2016, los USyV aún presentaban el mismo patrón en cuanto a su importancia, sin embargo, ha disminuido su extensión total, dando paso a nuevos usos de suelo, como son las zonas urbanas con vegetación y de agricultura con asentamientos humanos. Los Bosques Templados presentan una persistencia de 85%, perdieron 3461.31 ha, transformadas en asentamientos con agricultura y zonas urbanas a una tasa anual de 0.1%, y se recuperaron 2889.54 ha, principalmente aportadas por la vegetación secundaria y la agricultura. La vegetación secundaria tiene una permanencia de 25%, en virtud de que perdió en total 2561.4 ha, a una tasa anual de 1.3%. De éstas, 732.6 ha se transformaron en bosques templados y

1828.8 ha en pastizales inducidos y en zonas urbanas; sus ganancias fueron 1717.38 ha, principalmente aportadas por los pastizales y agricultura de riego. La Selva Baja Caducifolia disminuyó considerablemente, su persistencia fue de 18.3% y sólo se encuentran pequeños relictos al oeste del municipio, ésta perdió 68.94 ha a una tasa anual de 2.0% y recobró 32.3 ha procedentes de la agricultura (Tabla 3). Entre los años de 1994 a 2016, el cambio total de uso del suelo representó 30.9% del territorio municipal, que expresado en superficie equivale a 12407 ha; en términos de persistencia equivalen al 69.0%.

Tabla 3. Superficie total de USyV y parámetros de cambio entre 1994 y 2016

| Uso de suelo y Vegetación | Superficie total 1994 ha (%) | Superficie total 2016 ha (%) | Persistencia (%) | Tasa anual (%) | Cambio Total Neto (ha) |
|--|------------------------------|------------------------------|------------------|----------------|------------------------|
| Bosques Templados | 23055.2 (57.6) | 22483.7 (56.2) | 85.0 | -0.1 | -571.7 |
| Vegetación Secundaria | 3437.01 (8.6) | 2592.9 (6.5) | 25.5 | -1.3 | -844.1 |
| Pastizales Inducidos | 2040.9 (5.1) | 1539.8 (3.8) | 47.2 | -1.2 | -501.2 |
| Agricultura de riego | 2938.3 (7.3) | 1104.4 (2.8) | 23.3 | -4.4 | -1833.9 |
| Agricultura temporal | 5925.6 (14.8) | 4350.3 (10.9) | 51.1 | -1.4 | -1575.4 |
| Selva Baja Caducifolia | 84.3 (0.2) | 47.7 (0.1) | 18.3 | -2.0 | -36.6 |
| Cuerpos de Agua | 1743.5 (4.4) | 1879.1 (4.7) | 99.5 | 0.3 | 135.6 |
| Zonas Urbanas | 530.5 (1.3) | 1043.3 (2.6) | 96.5 | 3.1 | 512.8 |
| Vegetación de zonas urbanas | 127.7 (0.3) | 127.7 (0.4) | 100.0 | 0 | 23.3 |
| Asentamientos Humanos | 148.9 (0.4) | 0 | 0 | -100 | 844.1 |
| Zonas Urbanas con Vegetación | 0 | 954.2 (2.4) | - | - | 954.2 |
| Asentamientos con agricultura de riego | 0 | 1515.5 (3.8) | - | - | 1515.5 |
| Asentamientos con agricultura temporal | 0 | 2370.3 (5.9) | - | - | 2370.3 |

Fuente: Elaboración original.

Turismo de naturaleza

La muestra fue estrictamente nacional y las personas encuestadas provenían de 11 estados de México, con diferentes lugares de origen, tales como: Acapulco, Chiapas, Chihuahua, Ensenada, Guanajuato, Monterrey, Nayarit, Querétaro, Veracruz, Ciudad de México, Satélite, Toluca, Almanalco y oriundos. Tan sólo 28% de las 118 personas entrevistadas habían visitado previamente el área de 1 a 10 años atrás. Se encontró que el medio de transporte mayormente empleado para llegar fue auto propio (78%). De los encuestados, 33% contaban con licenciatura y 13% con posgrado, es decir, 46% tenía al menos estudios superiores.

Respecto a los cambios físicos identificados en el municipio, se reporta que 17% lo encontró más urbanizado y 9% identificó que existe menos vegetación. Asimismo, 11% de la población encuestada consideró que, al estar más urbanizado, es una ventaja ya que favorecen el transporte interior y exterior del municipio, además de existir una mayor seguridad pública. Cabe mencionar que, en este tipo de respuestas, donde resalta lo urbano como la más importante, no existieron diferencias con variables de edad o nivel educativo. La percepción del municipio no se ve influenciada por el nivel socioeconómico o empleo de los visitantes.

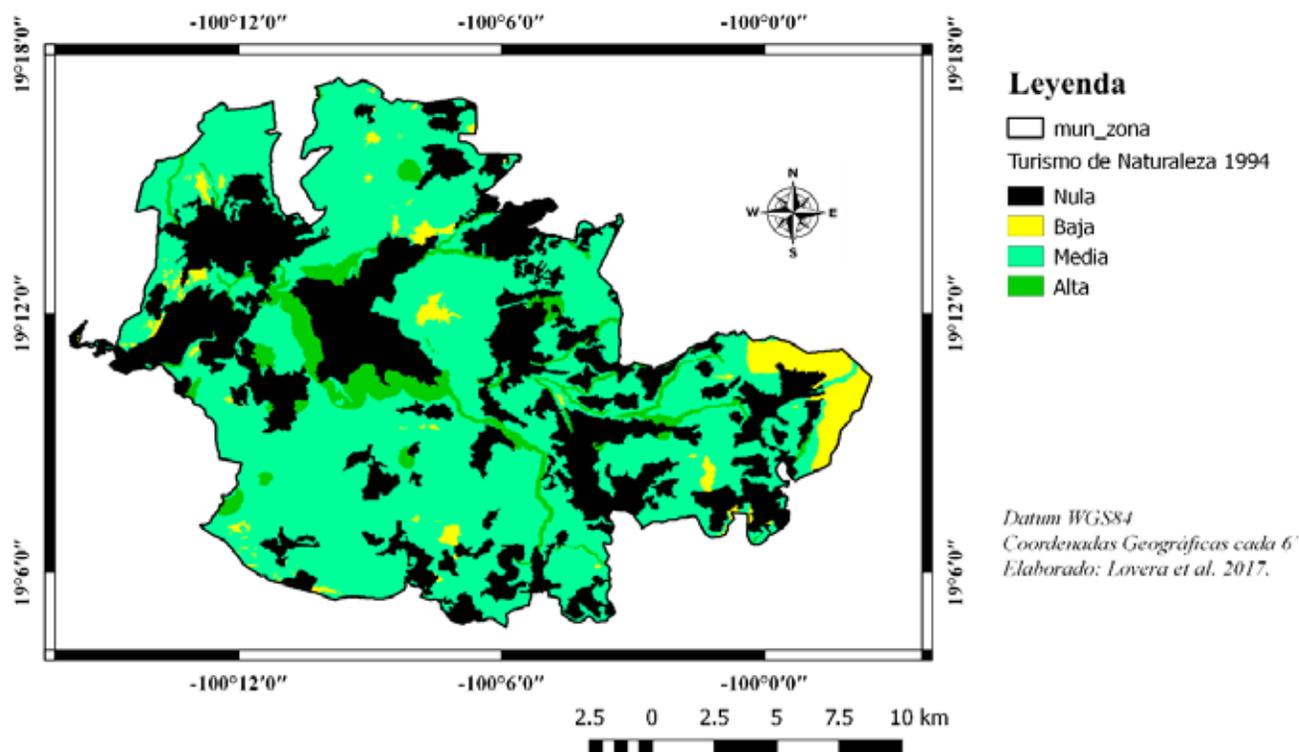
En este trabajo, 85% y 83% de los entrevistados tuvieron como sitios preferentes la cascada “Velo de Novia” y la Presa “Valle de Bravo”, respectivamente. De igual forma, las características naturales que más atraen a los visitantes son los bosques con 80% de las preferencias, las cascadas con 35%, el clima en un 30%, el propio territorio, así como su arquitectura patrimonial, 22%. Al preguntar a los turistas qué actividades causan un menor impacto para los paisajes y territorio, en contraste a la urbanización, 45% de los entrevistados refieren que las caminatas, 22% los vuelos en parapente, 15% paseo a caballo, 15% la tirolesa, 5% los paseos en yate o lancha y 5% el ciclismo de montaña.

Aptitud para Turismo de Naturaleza

Conforme a los criterios de ponderación, se precisó que entre 1994 y 2016, aproximadamente, la mitad del territorio presenta una aptitud media para el turismo de naturaleza, con 55.5% (Figura 2) y 48.1% (Figura 3), respectivamente. Las áreas con alta aptitud disminuyeron de 3.2%, que representaban en 1994, pasaron a 1.0% para el 2016. Se puede inferir que las transformaciones territoriales urbanas condujeron a cambios en el USyV, y por lo tanto en la provisión de los SE de recreación y turismo de naturaleza, lo que en

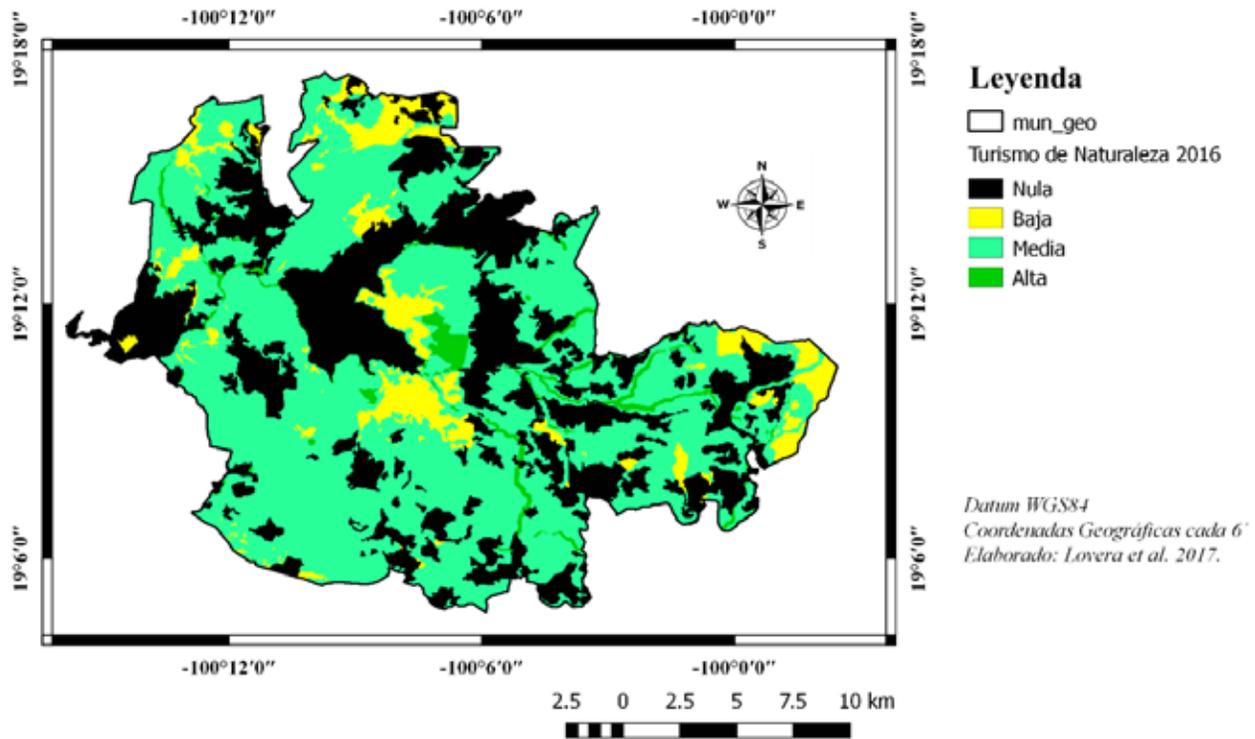
conjunto derivó en el aumento de la baja aptitud, que pasó de 9.3% a 18.9%. Para 1994, la baja aptitud pertenecía a zonas urbanas, vegetación secundaria y zonas donde el bosque se encontraba rodeado de cultivos o era de difícil acceso caminando, algunas de estas áreas se convirtieron en asentamientos, principalmente zonas residenciales con cultivos en 2016. Mientras que la aptitud nula fue idéntica para ambos años, con un valor de 32%, la cual correspondía a las áreas con pastizales y cultivos.

Figura 2. Aptitud para el turismo de naturaleza en Valle de Bravo, 1994



Fuente: Elaboración original conforme a sub-escenas de una imagen satelital Landsat de la zona de Valle de Bravo de julio de 1994 (Pat-Row 27-47), capturadas por el satélite Landsat 5, con una resolución espacial de 30 m.

Figura 3. Aptitud para el turismo de naturaleza en Valle de Bravo, 2016



Fuente: Elaboración original conforme a sub-escenas de una imagen satelital Landsat de la zona de Valle de Bravo de junio de 2016 (EarthExplorer, 2016), capturadas por el satélite Landsat 8, con una resolución espacial de 30 m.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Análisis

Conforme a los resultados obtenidos, enseguida se presentan algunos criterios para el posible desarrollo y ordenamiento territorial sustentable, basado en el mejor uso de los SE de la región:

1) Importancia de los recursos naturales, los paisajes regionales y su potencial turístico

En virtud de las evidencias, se puede referir un aumento de la baja aptitud para TN debido a los cambios de uso de suelo, principalmente orientados hacia el turismo residencial y en función de la disminución de áreas de alta aptitud, sobre todo en las zonas boscosas que han menguado por procesos de urbanización. Estas transformaciones se encuentran relacionadas con la dinámica de segregación y exclusión socio-territorial derivadas de las diversas actividades turísticas (Sierra *et al.*, 2011). Por lo anterior, es fundamental que se revisen a fondo los programas y acciones de ordenamiento territorial, compatibles con la valorización ambiental, estética y recreativa de los paisajes regionales. Asimismo, también es importante establecer acciones de monitoreo y seguimiento que rindan cuenta del grado de desarrollo o consolidación de los espacios habitacionales y urbanos, así como de los procesos turísticos y de los recursos naturales, es decir, que los niveles e intensidad de la mercantilización de los SE no sean contraproducentes con los esfuerzos de conservación.

En este sentido, el ordenamiento territorial requiere de mayor cooperación de los pobladores locales, así como entre vecindados, lo cual derivaría en la reducción del estrés y fragilidad ambiental en los sistemas socioecológicos regionales. En suma, las respectivas cronologías de desarrollo socioambiental y trayectorias de cambio de uso del suelo deben sustentarse en un nuevo orden de jerarquías sociopolíticas y arreglos institucionales, que den sentido a un desarrollo territorial armónico (social y ambiental) y del propio municipio como entidad jurídico-administrativa.

2) Lineamientos para la gestión turística de espacios naturales

Es evidente que en años anteriores, las diferentes decisiones de gestión promovieron la urbanización (Ellis *et al.*, 2019). En particular, durante el periodo 1994-2016, los cambios de USyV (bosques, agricultura, asentamientos urbanos, etc.) están definidos por el entorno físico, los múltiples usos del suelo y las estrategias de gestión aplicadas, así como por las prácticas de producción económica regionales, las cuales tienen implicaciones para determinar el tipo de relaciones entre la población, el territorio y la propia gobernanza local. Por lo tanto, en la construcción cultural contemporánea del mosaico paisajístico, se presentan diversos tipos de relaciones naturaleza-cultura. Desde este punto de vista, los cambios en el uso del suelo y la vegetación estudiados aquí, dan cuenta de los procesos en donde concurren distintos grupos sociales. En este sentido, a partir de concebir el patrimonio local como una construcción social donde se visibilizan las memorias e iden-

tidades de distintos colectivos sociales, los posibles lineamientos para la gestión turística de los espacios naturales requieren la revisión de las interacciones entre el sustrato físico-natural y la sociedad a través del tiempo. Los cambios en el uso del suelo y la aptitud derivada con fines turísticos, refleja cómo, espacialmente, diferentes dinámicas socioeconómicas se han superpuesto al territorio con sus recursos naturales a lo largo de los años.

De esta forma, la importancia que le conceden los turistas ofrece una mirada parcial pero dominante, que selecciona los paisajes locales dignos de ser reconocidos como patrimonio objetivo de su uso, a partir de atribuirle una serie de cualidades en función de las cuales, estos grupos sociales le asignan, al mismo tiempo, una serie de valores económicos, estéticos, de naturaleza e históricos.

En este trabajo, los procedimientos metodológicos se dirigieron hacia capturar la visión exclusivamente de los turistas que, como grupo social, selecciona los paisajes en forma muy diferente a los pobladores originarios. Cabe dirigir estudios posteriores hacia la percepción y prácticas que estos pobladores locales poseen respecto a sus experiencias, saberes y percepción de su entorno, que depende de su cultura, así como de las experiencias históricas de su grupo de pertenencia.

El impulso que se ha dado a las actividades turísticas residenciales como el principal eje de desarrollo económico regional, ha causado un visible deterioro y fragilidad ambiental en los paisajes regionales, así como en su diversidad. Conforme a lo anterior, se desprende la necesidad de aplicar principios de gobernanza para la gestión turística, tales como a) responsabilidad (*gestión colectiva*); b) equidad (*fortalecimiento del bienestar*); c) participación (*procesos de planeación y toma de decisiones*); d) representación (*inclusión de la diversidad*); e) dirección (*visión y sentido local*) y f) desempeño (*instituciones y procesos para un buen uso de recursos*).

Los resultados positivos de la gobernanza en comunidades forestales pueden incluir, entre otros: aumento del empleo, contribución a inversiones sociales (i.e. suministro de agua, salud y capacitación), mejor participación de la comunidad en la gestión sustentable de los recursos naturales (Palomino *et al.*, 2016), mayor conciencia sobre la protección del medio ambiente y las prácticas de explotación, una representación justa y el empoderamiento de las minorías (poblaciones originarias). Asimismo, se prevé que la presencia de actividades económicas que generen beneficios directos, como el despliegue de incentivos, apoyo financiero, condiciones fiscales y refuerzos técnicos e institucionales enfocados al desarrollo de capacidades locales, podrían contribuir en gran medida a mejorar la gobernanza en este tipo de entornos (Mandiefe *et al.*, 2018).

DISCUSIÓN

Respecto a la dinámica de cambios en las coberturas forestales, Hernández *et al.* (2000) y Bonfil y Madrid (2006) refieren que las ganancias y pérdidas en la región son consecuencia de los cambios de USyV, así como de las campañas de reforestación impulsadas por el Gobierno del Estado (Probosque, 2010). Bonfilio *et al.* (2009) mencionan que los pastizales, la agricultura de temporal y riego han disminuido considerablemente en toda la región, debido, en gran parte, al desinterés que existe por las actividades agropecuarias (Galacho *et al.*, 2012). Una causa relevante pudiese ser el reemplazo de actividades económicas, como las turísticas, ya que algunos hoteles y empresas se han establecido en lugares donde existían parcelas agrícolas y potreros (Hernández *et al.*, 2011).

Durante el periodo de estudio se encontró que la ciudad aumentó el doble de su superficie a una tasa anual de 3.1%; el aporte principal proviene de los bosques templados, la agricultura y los pastizales inducidos. Para 2016, las zonas urbanas con vegetación aumentaron 954.18 ha y los asentamientos con agricultura de riego y temporal incrementaron 1515.51 ha y 2370.33 ha, respectivamente. Este proceso de expansión urbana se encuentra relacionado con el auge que ha tomado el municipio como destino residencial y turístico (Hernández *et al.*, 2011; Cárcamo *et al.*, 2013). Deverdun *et al.* (2016) reportan que la urbanización presenta una dinámica superior a la demográfica por las dinámicas turísticas y mencionan que, entre los años de 1990 y 2010, la población creció a una tasa promedio de 1.7%, y las viviendas lo hicieron en 2.8%. Si bien los cambios son significativos, sucedieron en áreas ya transformadas. En particular, en la cuenca de Valle de Bravo las interacciones entre las coberturas del suelo ocurren en sitios transformados debido al abandono de tierras (Vega y Márquez, 2007). Bonfilio *et al.* (2009) refieren que entre los años de 1992-2002 el cambio total para el Estado de México fue de 6.7%, con una persistencia de 93.3%, valores que contrastan en un periodo más breve a los reportados en este trabajo para el Municipio.

En los últimos años, los recursos naturales y SE, así como el TN, se han convertido en componentes importantes en la nueva demanda turística (Ballesteros, 2014). Asimismo, en este trabajo se encontró que 60% de los visitantes se sienten atraídos para contemplar las áreas naturales del municipio; los datos se corroboran con las encuestas realizadas por Hernández *et al.* (2011), los cuales indican que 100% de las turistas entrevistados son cautivados por el paisaje del lugar. Conforme a lo anterior, se estima que los turistas que frecuentan un parque natural o un destino turístico rodeado de ambientes naturales, podrían desarrollar una profunda apreciación por la naturaleza e inclusive un alto nivel de compromiso con el medio ambiente, adquiriendo un comportamiento ecológico

(Yanju y Jinyang, 2008). En México, una estrategia aplicada frecuentemente para lograr un turismo sustentable es la creación de Áreas Naturales Protegidas (ANP) (Segrado *et al.*, 2013), las cuales se han implementado en la última década en el municipio, particularmente con el decreto del Parque Estatal de Monte Alto en 2013 y la incorporación del municipio al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP) en 2016.

Las ANPs parecieran ser una estrategia efectiva para conservar la biodiversidad, sin embargo, en el contexto internacional éstas han excedido la inclusión y participación de los organismos gubernamentales encargados de su manejo (Broadbent *et al.*, 2012). Del mismo modo, las ANP se observan aisladas en el contexto regional respecto a las dinámicas de cambio de USyV a su alrededor (Palomo *et al.*, 2013), factores que amenazan su propia conservación a largo plazo. El decreto de ANP en el municipio ha disminuido la aptitud para el TN, ya que este tipo de programas sólo se han centrado en la conservación y cuidado de ciertas áreas, dejando al conjunto del bosque de los alrededores desprotegido.

Otras estrategias previas fueron el reconocimiento del municipio como Pueblo Mágico en 2005, la construcción de la Gran Stupa Bön cerca de los Álamos y la Stupa de la Paz Mundial en Avandaro, en los años de 2004 y 2005, respectivamente. Sierra *et al.* (2011) refieren que Valle de Bravo ha sido objeto de una serie de decretos que lo hacen poseedor de la categoría de ANP, sin embargo, al mismo tiempo, a la población se le resta poder y control sobre sus recursos naturales, quedando bajo el resguardo de instituciones estatales, federales o privadas. Es importante entender que la permanencia de una ANP depende en gran medida del consenso y la colaboración de la población (Toledo, 2005).

Respecto a las políticas y acciones realizadas por el Estado en el municipio, éstas se han orientado hacia la transformación del territorio con un enfoque dirigido al desarrollo del turismo residencial (Deverdun, 2016), lo cual ha acelerado los procesos regionales de metropolización y acentuado la centralización económica (Sierra *et al.*, 2012). Lo anterior, ha propiciado una desigualdad socioeconómica, cultural, regional y local entre la población (López *et al.*, 2015). En la actualidad, parte importante de los ingresos económicos locales dependen del turismo (Ayuntamiento Constitucional de Valle de Bravo, 2013a), sin embargo, la mayoría de los servicios turísticos se ofrecen por la iniciativa privada con un enfoque exclusivamente comercial, sin ser orientados hacia la conservación de los recursos naturales, así como su patrimonio cultural, dejando de lado el acceso de los pobladores locales a sus propios recursos, y sin contribuir a los diversos niveles de organización y cohesión social de las comunidades originarias (Hernández *et al.*, 2011).

Un ejemplo de lo anterior sucede en la Cascada El Molino, en donde con anterioridad los Mazahuas podían vender sus productos y los turistas disfrutaban de la naturaleza. En la actualidad, esta área se encuentra cercada y casi oculta, sólo es posible acceder caminando o mediante el ingreso al Hotel Castillo, de propiedad privada. Asimismo, se observan tendencias de nuevas construcciones habitacionales que no corresponden con la tipología arquitectónica vernácula. Las consecuencias de este cambio urbano son múltiples y no están exentas de conflictos sociales, ya que las inversiones públicas y privadas para el mejoramiento de la infraestructura, preferentemente se orientan hacia las zonas turísticas, descuidando la habitabilidad regional y excluyendo las posibilidades de mejora de los niveles de calidad de vida de la población local (Zamudio, 2013). Es importante tener en cuenta que para el éxito en los procesos de construcción y fortalecimiento de iniciativas de turismo local, es fundamental la inclusión, así como la participación local, la cohesión social y el capital social comunitario (Kieffer, 2018).

CONCLUSIONES

Se observa que el crecimiento del turismo residencial de 1994 a 2016, como actividad económica regional primordial, ha segregado sociodemográficamente a la población local y acelerado el crecimiento de las zonas urbanas. Los cambios de uso de suelo paulatinamente disminuyen la aptitud del municipio para el TN, ya que entre 1994 y 2016 la mayor parte del territorio presentó una aptitud media. No obstante, para el año 2016 la alta y media aptitud para el TN se redujeron en un 2.1 % y 7.4 %, respectivamente; por ende, la baja aptitud aumentó. Si bien, 56.2 % de la superficie municipal aún se encuentra cubierta por bosques templados, las zonas urbanas han aumentado el doble, esta expansión potencialmente disminuye la aptitud del territorio para el propio TN.

A partir de los resultados de este trabajo, se considera que Valle de Bravo aún tiene una gran cantidad de recursos naturales e importantes bienes y SE que pueden ayudar a impulsar el TN, sin embargo, es necesario delinear trayectorias de sustentabilidad regional conforme a criterios de planeación territorial y gobernanza local dirigidos hacia el marco de una gestión participativa.

Es fundamental considerar la apertura y consolidación de oportunidades de desarrollo social y económico que incluyan nuevas modalidades de turismo: rural, de aventura y residencial, basadas en la cuantificación del potencial de los atributos bióticos y abióticos, y que incluyan diversas prácticas de valoración ambiental *in situ*, así como el reconocimiento del patrimonio cultural de las comunidades.

Por lo tanto, un nuevo tipo de turismo, relativamente más consciente e integrado, que ofrezca la posibilidad de generar beneficios económicos y sociales, principalmente en el nivel local comunitario, debe consolidarse como una condición indispensable para el uso racional y sustentable de los recursos naturales. Para ello, es indispensable llevar a cabo futuros estudios que analicen a detalle la aptitud de cada una de las actividades y prácticas turísticas, en el marco de una gobernanza adaptativa de los recursos y bienes comunes.

BIBLIOGRAFIA

- Atik, M., Altan, T. y Artar, M., 2010, "Land use changes in relation to coastal tourism developments in Turkish Mediterranean", en *Polish J. of Environ. Stud*, 19(1), 21-33.
- Ayuntamiento de Valle de Bravo, 2006, Plan Municipal Desarrollo Urbano de Valle de Bravo, Gobierno del Estado de México, en http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/valle_de_bravo/PMDUValleBravo.pdf. Consultado 10/04/17.
- Ayuntamiento Constitucional de Valle de Bravo, 2013a, Plan de Desarrollo Municipal 2013-2015 Valle de Bravo, Gobierno de Valle de Bravo, en <https://es.scribd.com/document/254757959/Plan-de-Desarrollo-Municipal-2013-2015-Valle-de-Bravo>. Consultado 10/08/16.
- Ayuntamiento Constitucional Valle de Bravo, 2013b, Diagnóstico en materia de turismo Valle de Bravo, Gobierno de Valle de Bravo, en <http://www.ipomex.org.mx/ipo/archivos/downloadAttach/367949.web;jsessionid=1C5435B41FEEBE14FFC6A1FAD23B86F8>. Consultado 25/03/16.
- Ayuntamiento Constitucional Valle de Bravo, 2016, Plan de Desarrollo Municipal de Valle de Bravo 2016-2018, Gobierno de Valle de Bravo, en <http://www.valledebravo.gob.mx/wp-content/uploads/2016/04/PDMVB-2016-2018-PUBLICADO-FINALa.pdf>. Consultado 18/05/16.
- Ayuntamiento Constitucional de Valle de Bravo, 2019, Estado de México. IV.IVI.II. Subtema: Población indígena, en *Gaceta Municipal*, 107, en <http://www.valledebravo.gob.mx/pdf/GACETA%201%20MARZO%202019%20PDMVB%202019-2021%20FINAL.pdf>. Consultado 01/12/19.
- Ballesteros, A., 2014, "El turismo de naturaleza en espacios naturales. El caso del Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar", en *Cuadernos de Turismo*, 34: 33-51.

- Bonfil, H. y Madrid, L., 2006, "El pago de servicios ambientales en la cuenca de Amalco-Valle de Bravo", en *Gaceta Ecológica*, 80: 63-79.
- Bonfilio, N. *et al.*, 2009, "Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación", en *Investigaciones Geográficas*, 69: 33-52.
- Broadbent, E. *et al.*, 2012, "The effect of land use change and ecotourism on biodiversity: a case study of Manuel Antonio, Costa Rica, from 1985 to 2008", en *Landscape Ecol*, 27: 731-744.
- CONABIO, 2008, Caso Valle de Bravo, en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios_veg/doctos/localizacion_valle.html. Consultado 6/02/2017.
- Cárcamo, M., Ruíz, A. y León, M., 2013, "La acción colectiva para frenar el deterioro forestal de Monte Alto, Valle de Bravo, México", en *Cuadernos PROLAM/USP*, 1: 104-128.
- Chuvieco, E., 2002, *Teledetección ambiental: La Observación de la tierra desde el espacio*, Ariel, Madrid.
- Cook, E., Hall, S. y Larson, K., 2012, "Residential landscapes as socio-ecological systems: a synthesis of multi-scalar interactios between people and their home environment", en *Urban Ecosystems*, 15: 19-52.
- Dandapath, P. y Mondal, M., 2013, "Urbanization and its impact on coastal eco tourism in West Bengal", en *International Journal of Science and Research* 2: 114-119.
- De Esteban, J. y Curiel, A., 2010, "El ecoturismo como modelo internacional de desarrollo sostenible del turismo cultural", en *Teoría y Praxis*, 8: 43-53.
- Deverdun, M., García, M. y Cenecorta, I., 2016, "El Turismo residencial en Valle de Bravo, México. Una interpretación de su ciclo de vida", en *Investigaciones Turísticas*, 11: 30-51.
- EarthExplorer, 2016, USGS science for a changing world de EarthExplorer, en <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Consultado 09/01/16.
- Eastman, J., 2012, IDRISI Selva Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes.
- Ellis, E., Pascual, U. y Mertz, O., 2019, "Ecosystem services and nature's contribution to people: negotiating diverse values and trade-offs in land systems", en *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38: 86-94.
- FAO, 2007, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, en <http://www.fao.org/docrep/009/a0773e/a0773e00.htm>. Consultado 12/11/15.
- Franch, I. y Cancer, L., 2017, "El componente visual en la cartografía del paisaje. Aptitud paisajística para la protección en la cuenca del río Chiquito (Morelia, Michoacán)", en *Investigaciones Geográficas*, 93: 42-60.

- Galacho, F. *et al.*, 2012, "Una experiencia de cooperación para la definición de estrategias de cara a la puesta en marcha de proyectos de ecoturismo en la cuenca de Valle de Bravo - Amanalco (Estado de México). Cooperación y turismo: intenciones y olvidos", en *Experiencias de investigación a debate*, 1: 397-2012.
- Hernández, G. *et al.*, 2000, Comunicación y apoyo al saneamiento de la cuenca de Valle de Bravo, *Anuario*, pp. 8.
- Hernández, N., Zizumbo, L. y Vargas, E., 2011, "Prácticas ambientales de las empresas turísticas de Valle de Bravo", en *Gestión y Ambiente*, 14(3): 65-78.
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 1994, Fotografías aéreas, escala 1:75,000, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, en <http://www.inegi.org.mx/>
- INEGI, 1998, Conjunto de datos vectoriales de la carta Topográfica. Escala 1:50 000. Valle de Bravo, en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825635749>. Consultado 18/10/16.
- INEGI, 2010, Compendio de información geográfica municipal 2010 Valle de Bravo, México, Clave Geoestadística 15110.
- INEGI, 2014, Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000, INEGI, en http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/usuarios/doc/guia_interusuarios.pdf. Consultado 19/05/15.
- INEGI, 2015, Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III. E14A46 (Valle de Bravo), en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825268770>. Consultado 18/10/16.
- Karez, C., 2012, Turismo sustentable en Bañados del Este (Uruguay), en *Cuaderno Virtual de Turismo*, 12(2): 185-197.
- Kieffer, M., 2018, "Turismo rural comunitario y organización colectiva: un enfoque comparativo en México", en *Pasos. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 16(2): 429-441.
- López, L., 2015, "Valle de Bravo, Estado de México. Del paisaje simbólico al emblema comercial", en: López, L. *et al.*, 2015, *Pueblos mágicos, una visión interdisciplinaria*, 463, UNAM, Facultad de Arquitectura, México.
- López, Y. *et al.*, 2011, "Flora del Bosque Mesófilo de Montaña y Vegetación adyacente en Avándaro, Valle de Bravo, Estado de México", en *Bol.Soc.Bot.Méx*, 88: 35-53.
- Lovera, V. *et al.*, 2018, "Evaluación del servicio ecosistémico de rendimiento hídrico entre los años de 1994 y 2016 en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México", en *Papeles de Geografía*, 68: DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/geografia/2018/322931>
- Mandiefe, S., Foundjem-Tita, D. y Minang, P., 2018, "Community forest governance in Cameroon: A review", en *Ecology and Society*, 23(3): 34.

- Mikery, M. y Pérez, A., 2014, "Métodos para el análisis del potencial turístico del territorio rural", en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9: 1729-1740.
- Nahuelhual, L. et al., 2014, "Land use change and ecosystem services provision: a case study of recreation and ecotourism opportunities in southern Chile", en *Landscape Ecol*, 29: 329-344.
- Ortiz, C. y Arévalo, G., 2014, "Beneficio económico y turismo ecosistémico. El caso de las termas en Michoacán, México", en *Economía, Población y Desarrollo*, 20: 3-18.
- Otzen, T. y Manterola, C., 2017, "Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio", en *Int. J. Morphol.*, 35(1): 227-232.
- Palomino, B., Gasca, J. y López, G., 2016, "El turismo comunitario en la Sierra Norte de Oaxaca: perspectiva desde las instituciones y la gobernanza en territorios indígenas", en *El Periplo Sustentable*, (30): 6-37.
- Palomo, I. et al., 2013, "Deliberative mapping of ecosystem services within and around Don ñana National Park (SW Spain) in relation to land use change", en *Reg Environ Change*, doi: 10.1007/s10113-013-0488-5.
- Peñaloza, N., Villareal, N. y Vargas, E., 2011, "Prácticas ambientales de las empresas turísticas en Valle de Bravo", en *Gestión y Ambiente*, 14(3): 65-78.
- Pérez, M. Pérez, M. y Valdez, R., 2011, "Métodos para determinar la aptitud ecoturística de áreas forestales", en *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 271-289.
- Petroman, I. et al., 2013, "Types of cultural tourism", en *Animal Science and Biotechnologies*, 46(1): 385-388.
- Probosque, 2010, Principales programas forestales de la administración estatal. Inventario Forestal, en <http://probosque.edomex.gob.mx/images/Inventario-forestal/InventarioFtal2010Parte2.pdf>. Consultado 09/02/17.
- Saaty, T., 1980, *The analytic hierarchy pocess*, Ed. McGrawHill, México.
- Secretaría de Ecología, 2003, "Programa de ordenamiento ecológico regional de la Sub-Cuenca Valle de Bravo- Amanalco", en *Gaceta del Gobierno del Estado de México*, Tomo CLXXVI, Núm. 87, Estado de México, México.
- Sectur, 2006, El Turismo de naturaleza: Retos y oportunidades. Secretaría de Turismo, en <https://manuelmiroglia.files.wordpress.com/2011/05/el-turismo-de-naturaleza-en-mexico.pdf>. Consultado 09/02/17.
- Segrado, R. et al., 2013, "Estrategias de control de impactos turísticos en las áreas naturales protegidas y zonas arqueológicas de Quintana Roo, México", en *Cultura*, 3: 5-30.
- Sierra, N. et al., 2011, "Ordenamiento Territorial, turismo y ambiente en Valle de Bravo, México", en *Cuadernos Geográficos*, (48): 233-25.

- Sierra, N., Romero, T. y Zizumbo, L., 2012, "Desarrollo regional, electrificación y reorganización socioespacial en Valle de Bravo, México", en *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 7(13): 243-269.
- Toledo, V., 2005, "Repensar la conservación: ¿Áreas Naturales Protegidas o Estrategia bioregional?", en *Gaceta Ecológica*, 77: 67-83.
- Vallejos, M. *et al.*, 2019, "Social-Ecological functional types: Connecting people and ecosystems in the Argentine Chaco", en *Ecosystems*, <https://doi.org/10.1007/s10021-019-00415-4>
- Vega, E. y Márquez, R., 2007, Evaluación indirecta del disturbio mediante la combinación de estrategias de modelaje: un ejemplo con la cuenca de Valle de bravo, Estado de México, en http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/395/vega_marquez.html. Consultado 09/02/17.
- Wang, J. y Liu, Y., 2013, "Tourism-Led Land-Use Changes and their environmental Effects in the Southern Coastal Region of Hainan Island, China", en *Journal of Coastal Research*, 29(5): 1118-1125.
- Zamudio, L., 2013, "Arquitectura y Turismo. La arquitectura como reclamo turístico", en *Urbano*, 16(28): 58-67.
- Zizumbo, L., Bernal, E. y Romero, T., 2013, "Proceso de modernización y desarrollo turístico en Valle de Bravo", en *Ateliê Geográfico-Goiânia-GO*, 7(2): 27-43.
- Yanju, L. y Jinyang, D., 2008, "The new environmental paradigm and nature-based tourism motivation", en *Journal of Travel Research*, 46: 392-402.

Paisajes bioculturales y alimentación: Estudio de caso del sur de Jalisco

Roberto Alexander Fisher Ortíz,¹ Jesús Juan Rosales Adame,¹
P. R. W. Gerritsen,¹ Claudia Irene Ortiz Arrona¹
y Gerardo Alberto Hernández Cendejas²

Resumen: *En este artículo se analiza la relación que existe entre el manejo del paisaje y la alimentación en una comunidad del sur de Jalisco. El trabajo de campo se dividió en tres fases: en la primera, se caracterizaron las prácticas, clasificación, actores, historia y formas de manejo del paisaje local; en la segunda, se caracterizaron las unidades socioambientales del paisaje y los alimentos que se producen, y por último, en la tercera, se realizó un taller para devolver los resultados y recibir retroalimentación de la comunidad al equipo de investigación.*

Se identificaron seis unidades socioambientales en el paisaje local, de las cuales cinco proveen alimentos, destacándose las “casas-corrал” y el “coamil-potrero”. Destaca que la mayoría de las personas no utiliza una estrategia de uso múltiple para su alimentación, sin embargo, los que sí lo hacen obtienen una mayor diversidad de alimentos. También se encontraron tres niveles de inseguridad-seguridad alimentaria: de paisaje, de sistema productivo y de conocimiento-preferencia.

Palabras claves: *paisaje, seguridad alimentaria, unidades socioambientales, Sierra de Amula, La Ciénega.*

Abstract: *In this article, we study the relationship between landscape management and food security in a rural community in southern Jalisco. We used a three step methodology: first we generally characterized the landscape, the farmer classification, its management and the environmental history. Then, we characterized the landscape units and the food they produce. Finally, a participatory workshop was organized to present our results and to obtain feedback.*

¹ Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, e-mail: jesusr@cucsur.udg.mx.

² Escuela Nacional de Estudios Superiores–Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México.

We identified six socioenvironmental units in the landscape, five of them that produce foods, being the “casas-corral” and the “coamíl-potrero” the most important. Most of the people interviewed don’t use the multiple use strategy for obtaining food, but the ones that do consume a bigger variety of foodstuffs. We also found three levels of food security-insecurity: at landscape level, at productive system level and at the cognitive-preference level.

Key words: *landscape, food security, socioenvironmental units, Sierra de Amula, La Ciénega.*

INTRODUCCIÓN

Los seres humanos y la naturaleza establecen una serie de relaciones materiales e inmateriales que los modifican, las cuales son construidas en un complejo proceso histórico de coproducción (Toledo, 1997; Gerritsen, 2010). Tanto la alimentación como el paisaje están inmersos en este proceso, por lo tanto, suceden en un complejo socio-natural ecológico.

Para este trabajo, tomamos el concepto de paisaje como: una categoría geográfica unificadora donde existen una serie de dimensiones naturales (complejo geocológico) y socio-culturales (infraestructura y cosmovisión), donde se conforman los medios de vida de las personas, pero también se reproducen los servicios ecosistémicos y recursos naturales, además de un lugar donde existen diferentes niveles de negociación, implícitos en la transformación del medio, así como relaciones de poder, entramados políticos y fenómenos, y procesos naturales (Mateo-Rodríguez, 2002; Urquijo y Bocco, 2011).

Se tomó como unidad de análisis las unidades socioambientales que conforman el paisaje, las cuales son espacios que obtienen especificidad por la forma de ordenación y manejo del paisaje campesino (Boege, 2005). En este trabajo se reconoce que los campesinos guardan una serie de saberes, transmitidos de generación a generación, referentes a la concepción, clasificación y manejo del paisaje basado en sus diferentes características como el relieve, las estructuras geomorfológicas, vegetación, suelo y topografía, el cual es usado en sus estrategias de apropiación de la naturaleza (Toledo y Barrera-Bossols, 2008).

Como fenómeno a estudiar tomamos a la alimentación, no sólo como un acto biológico de apropiación de los recursos naturales, sino además como una serie de relaciones culturales y de poder construidas históricamente a través de relaciones de diferentes tipos (Albán-Achinte, 2010). Para ello utilizaremos a la seguridad alimentaria como concepto clave. Identificándola como el estado en el cual todas las personas, en todos los tiempos, tiene acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, sanos y nutritivos para alcanzar sus necesidades dietarias y de preferencia para una vida activa y saludable (FAO, 2014).

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es comprender la relación que existe entre los paisajes rurales y su relación con la alimentación, tomando como caso de estudio la comunidad de La Ciénega, ubicada en la región de la Sierra de Amula, Jalisco. Así mismo, generar recomendaciones o ideas para mejorar la seguridad alimentaria en la comunidad a través de un proceso participativo.

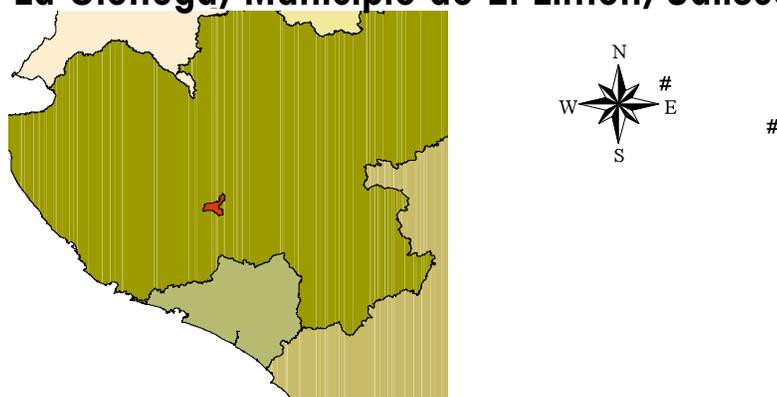
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA, MÉTODOS Y TÉCNICAS

Área de estudio:

El trabajo se realizó en la comunidad de La Ciénega, municipio de El Limón, Jalisco (Figura 1). El municipio por su parte se encuentra en la región Sierra de Amula, donde 46.7% de la población está en situación de pobreza extrema, y sus principales actividades productivas son la ganadería, agricultura de temporal y riego, extracción de productos forestales no maderables, pesca y cacería, entre otras (Gobierno de Jalisco, 2017).

Figura 1. Mapa de ubicación del ejido de La Ciénega, Jalisco

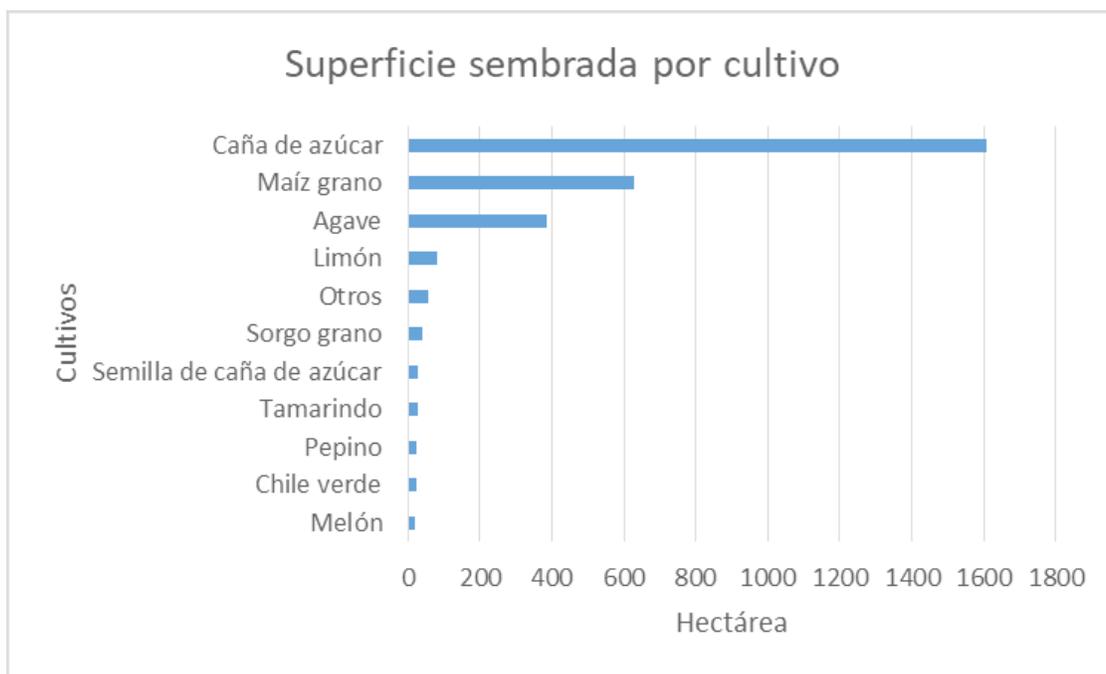
Mapa de localización del Ejido de La Ciénega, Municipio de El Limón, Jalisco



Según la Coneval, para 2010 existía una población de 5 382 habitantes, de los cuales 35.3 % se encontraban en situación de pobreza; 1.9 % en pobreza extrema y 80.1 % en una situación con al menos una carencia en: alimentación, básicos de vivienda, calidad y espacio

de vivienda, seguridad social, acceso a salud y rezago educativo. Los principales cultivos sembrados del municipio son la caña de azúcar con 54.9%, el maíz de grano 21.5%, el agave con 13.2% y otros cultivos (SIAP, 2017) (Figura 2), representando estos tres 89.6% de la superficie del municipio.

Figura 2. Superficie sembrada por cultivo en el municipio de El Limón



Elaborado mediante datos del SIAP (2017)

METODOLOGÍA

El trabajo se dividió en tres fases:

- 1) *Caracterización general del paisaje:* En esta fase se realizaron cuatro entrevistas a informantes claves sobre las actividades productivas de la comunidad, formas de organización, historia agraria, prácticas y formas de manejo del paisaje y sus unidades, así como los factores internos y externos que influyen en su manejo. Al mismo tiempo, se realizó un mapeo participativo bajo el enfoque de unidades socioambientales (Boege, 2005), donde se deter-

- minaron los límites de la comunidad, las descripción de las unidades y del paisaje, así mismo sus recursos y las principales prácticas de manejo y los alimentos que se consumen.
- 2) *Diagnóstico de seguridad alimentaria*: En esta fase se determinaron las unidades socioambientales para la alimentación, los alimentos más importantes y las vías para obtenerlos, tanto del paisaje local como del externo, mediante perfiles de grupo (Geilfus, 2002); también se realizó un diagnóstico de la seguridad alimentaria y la disponibilidad y acceso a alimentos, tomando como base los trabajos de FAO (2014) y Bickel *et al.* (2000). En esta fase se entrevistó a 29 personas.
 - 3) *Taller de retroalimentación*: En esta fase se presentaron los resultados a la comunidad para que ellos pudieran generar recomendaciones, posibles soluciones y estrategias de acción que les permitían encontrar los caminos hacia una seguridad alimentaria en el ejido. Para esto, nos apoyamos con un taller participativo en la comunidad.

RESULTADOS

Historia agraria del ejido

La historia del ejido comienza en los años de 1940, cuando a través del reparto agrario surge la figura ejidal. Durante el periodo de los 40 a 60 se da una época de gran cohesión social, en el que la gente trabajaba para el bien común y con gran amor a la tierra, de tal manera que era como si el ejido fuera una familia. Durante las décadas de los 60 a 80 el ejido comienza a tener una influencia externa con la llegada de ofertas de créditos, técnicos y tecnología externa, con lo que el ejido inició un proceso de dependencia del exterior. Posterior a la década de los 80, diversos ejidos de la región y también ejidatarios incurrieron en carteras vencidas y varias personas de la comunidad se sumaron al movimiento del Barzón campesino.³

3 El Barzón es un movimiento social que nace el 13 de octubre de 1994 con el objetivo de “defender el patrimonio de las familias y rescatar las unidades de producción amenazadas por los banqueros”; actualmente tienen la misión de ser una organización plural e incluyente, comprometida social y políticamente, en la lucha por la equidad social y económica, el combate a la corrupción, la defensa de los derechos humanos, de la tierra, del territorio, así como el patrimonio familiar y social; la preservación del medio ambiente y los recursos naturales para revertir los efectos del cambio climático. Así como el impulso a la producción agropecuaria libre de transgénicos y el ordenamiento del mercado agroalimentario que garanticen la soberanía y seguridad alimentaria (El Barzón, 2018).

Finalmente, durante los últimos 20-30 años diversas instituciones han tratado de entrar al ejido mediante el Procede y el pago por servicios ambientales,⁴ pero éstos han sido rechazados porque se considera que sería una pérdida de soberanía sobre el manejo del territorio del ejido, esto debido a experiencias previas con asesores técnicos, instituciones de investigación y proyectos agrícolas dirigidos a la exportación.

No obstante, algunos proyectos de agroexportación lograron integrarse a la comunidad, primero el cultivo de jitomate, que años más tarde cayera en quiebra debido a la gran incidencia de plagas y enfermedades, posteriormente, el agave tequilero que fracasó debido a la oscilación en el precio del tequila, y por último, con la expansión de la concesión para el ingenio, llegó al ejido el riego para la producción de caña de azúcar. Por otra parte, diversas instituciones de investigación nacionales y extranjeras llegaron en ese tiempo, éstos fueron vistos, desde la comunidad, como causantes de diversos conflictos debido a un fuerte saqueo cognitivo por parte de los investigadores.

Así pues, la comunidad de La Ciénega queda conformada, en su estructura interna, por una asamblea ejidal, siendo la institución más fuerte, junto a los ejidatarios y vecindado, y de forma externa, por instituciones que influyen en la comunidad, principalmente el Ingenio Melchor Ocampo por la producción de caña de azúcar, considerada la actividad económica más importante en la comunidad; después la casa José Cuervo que también juega un papel preponderante en la compra de cabezas de Agave para la producción de Tequila, y diversas instituciones de investigación con una relación difícil con la comunidad. Adicional a que otras instituciones han intentado entrar al ejido como la Conafor, la Sagarpa y diversos asesores técnicos. (figura 2).

⁴ El Procede fue un programa de gobierno con el objetivo de dar certidumbre jurídica a la tenencia de la tierra a través de la entrega de certificados parcelarios y/o certificados de derechos de uso común, o ambos, según sea el caso, así como de los títulos de solares en favor de los individuos con derechos que integran los núcleos agrarios que así lo aprueben y soliciten (SRA, 2003). Por otro lado, el pago por servicios ambientales es un programa diseñado para proveer incentivos económicos a los dueños de terrenos forestales (ejidos, comunidades y pequeños propietarios) con el fin de apoyar prácticas de conservación y evitar el cambio de uso del suelo de las zonas forestales en reconocimiento a los servicios ambientales que proveen sus predios (Conafor, 2011).

Clasificación del paisaje

En cuanto a la conformación del paisaje, los campesinos distinguen seis unidades socio-ambientales: los cerros, los coamiles-potreros, las casas-corral, las parcelas de riego, los arroyos y nacimientos, y la presa (Basilio Badillo, conocida como la presa de Las Piedras). De estas unidades, sólo la presa de Las Piedras se encuentra fuera del ejido. A continuación, se describen dichas unidades con más detalle:

Los Cerros: Esta unidad se compone principalmente por selvas bajas y robladas; la gente local lo considera como una barrera, protector o guardián de la comunidad ante eventos climáticos extremos, y se practican diversas actividades en ella como la recolección de plantas medicinales y comestibles, la caza y, en época de lluvias, la ganadería.

Los Coamiles-Potreros: Este es un sistema agroforestal donde se combina el cultivo de maíz y/o pastos con diversos cultivos temporales y leñosas útiles (árboles y cactáceas columnares, principalmente) como barrera o como elementos leñosos dispersos, además, durante la época de secas, el ganado baja del cerro a estos lugares. También juega un importante papel social y cultural al considerársele un espacio de lucha, ganado durante la Revolución Mexicana, y el lugar donde los antepasados les enseñaron a sembrar.

Los Arroyos y nacimientos: Incluyen a los arroyos temporales y nacimientos de agua, son usados con fines recreativos y no producen alimentos. Su localización y manejo se pidió que se mantuvieran en secreto por miedo a que fueran privatizados.

Las Casas-corral: Corresponden al espacio doméstico donde se procura el alimento y la salud de la familia, existe una gran diversidad de plantas y animales útiles. A pesar de lo anterior, las nuevas generaciones muestran un gran desinterés ante la diversidad de estos lugares y prefieren destruirlos para construir cocheras o empastarlos.

Las Parcelas de riego: Esta unidad cuenta con “las mejores condiciones para la producción”, como suelos profundos, riego, tecnología y créditos. Éstas suelen ser rentadas a gente externa y son la única fuente de ingreso en el ejido, ya que ahí se produce la caña de azúcar.

La Presa: Se ubica en los límites de los municipios de El Limón y Ejutla. En este espacio se realizan actividades lúdicas (pesca, natación, campismo y espacios para ir a comer). Esta unidad es fuente de producción de peces para la alimentación (Figura 3 y Figura 4).

Figura 3. Mapa de las unidades socioambientales en la comunidad de La Ciénega, Municipio de El Limón, Jalisco

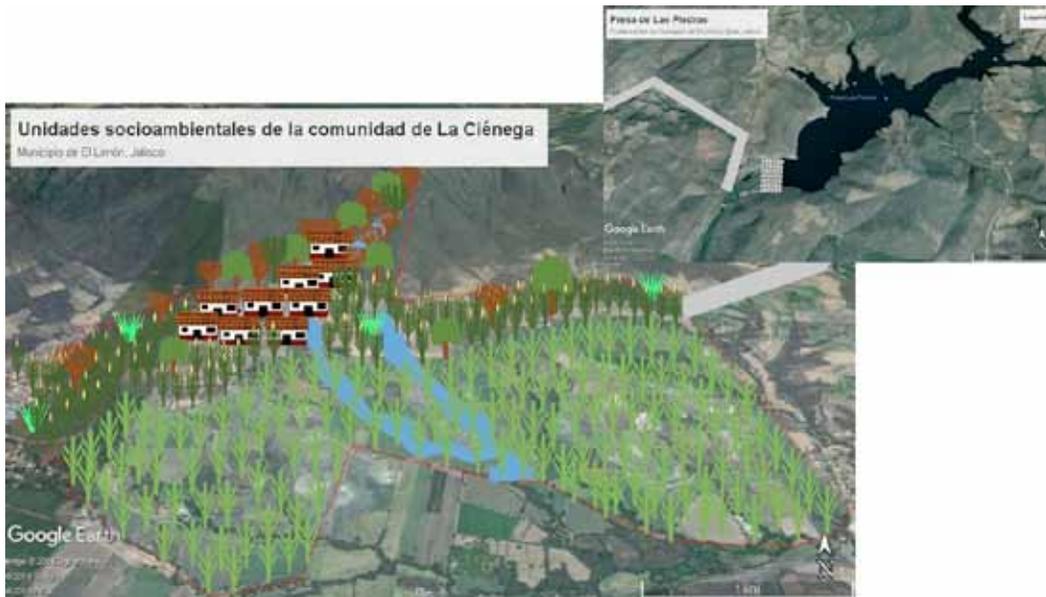
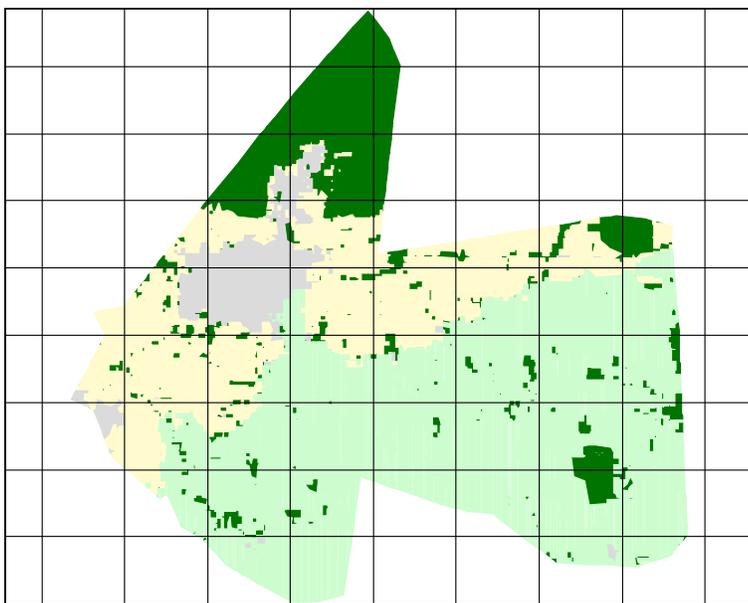
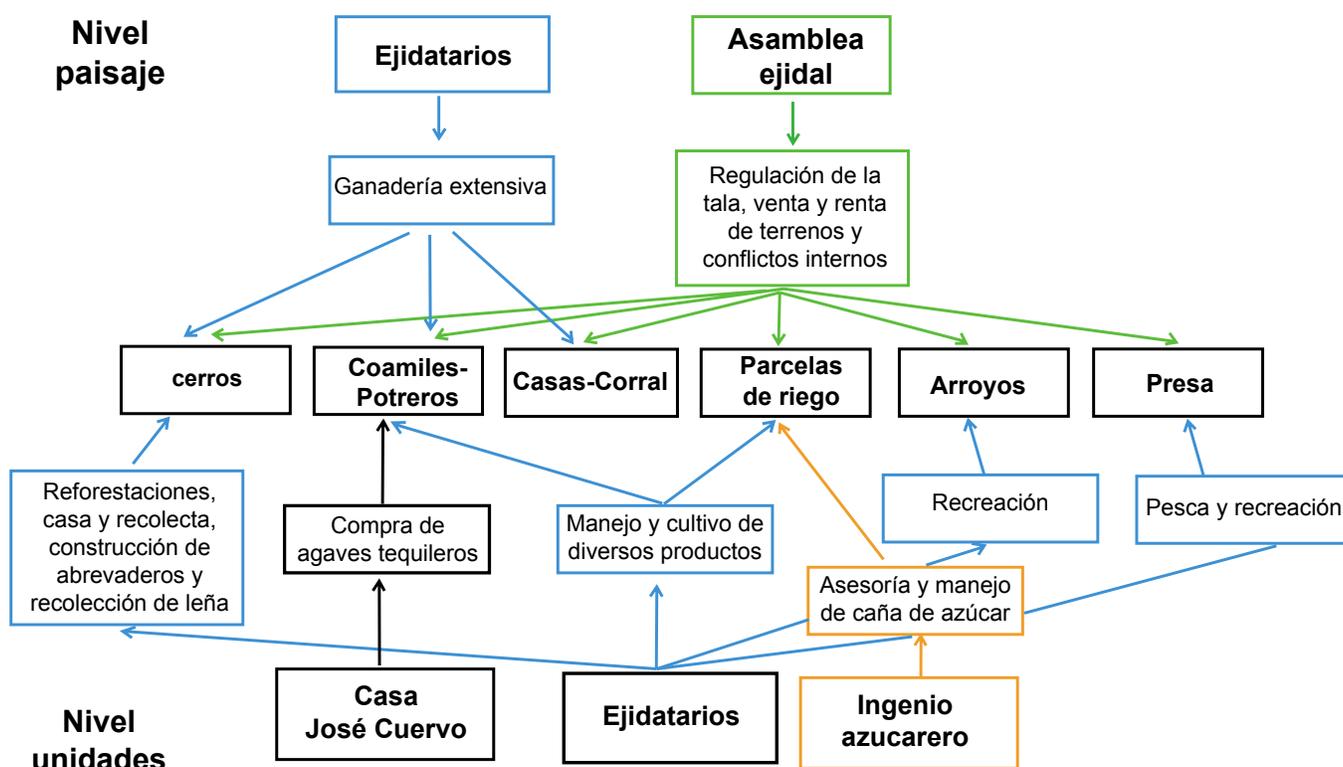


Figura 4. Mapa de uso de suelo por unidades socioambientales en la comunidad de La Ciénega, Municipio de El Limón, Jalisco



En lo que se refiere al manejo del territorio, la toma de decisiones a nivel de paisaje les corresponde a la asamblea ejidal; entre las que destacan: regular la tala de leñosas en el ejido, la compra y venta de tierras, y los conflictos por el ganado. Sin embargo, en lo que respecta al manejo del ganado, en varias unidades socioambientales también los ejidatarios, en lo individual, influyen en el manejo del territorio. Por otra parte, los diferentes actores influyen en diferente medida a nivel de unidades, tal es el caso de la influencia de los ejidatarios y el ingenio en las parcelas de riego; la casa José Cuervo y los ejidatarios en los caomiles-potreros, los ejidatarios y vecindados en las casas corral y los ejidatarios en el cerro (Figura 5).

Figura 5. Mapa de actores y cómo influyen sobre las unidades del paisaje

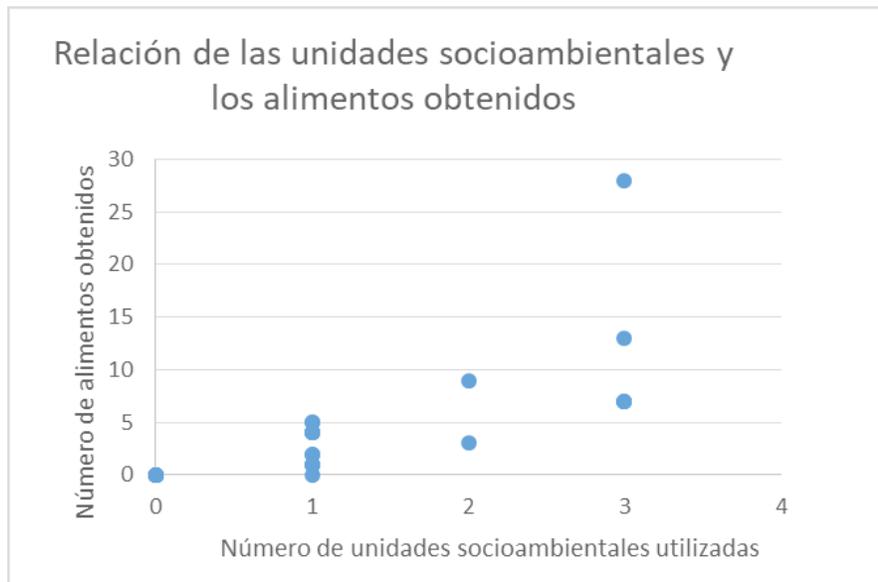


Fuente: Elaboración propia.

Potencial alimenticio del paisaje

De las unidades, todas son usadas para la alimentación, menos los arroyos y nacimientos. De los 29 entrevistados, 44.8% no utiliza ninguna unidad para su alimentación, 34.5% utiliza sólo una, 6.9% utiliza dos y 13.8% utiliza tres unidades. Aunque hay que mencionar que las personas que más unidades utilizan son los que más alimentos obtienen, pudiendo aprovechar de 7 a 28 alimentos (Figura 6).

Figura 6. Relación entre las unidades utilizadas y el número de alimentos obtenidos en la comunidad de La Ciénega, Jalisco



Fuente: Elaboración propia.

De las personas que sí utilizan unidades socioambientales, cuatro utilizan solamente el coamil-potrero y seis las casas corral, dos combinan ambas, una persona además le incorpora la parcela de riego, otra en vez del riego utiliza el cerro, y por último una persona combina el cerro, las casas-corral y la presa.

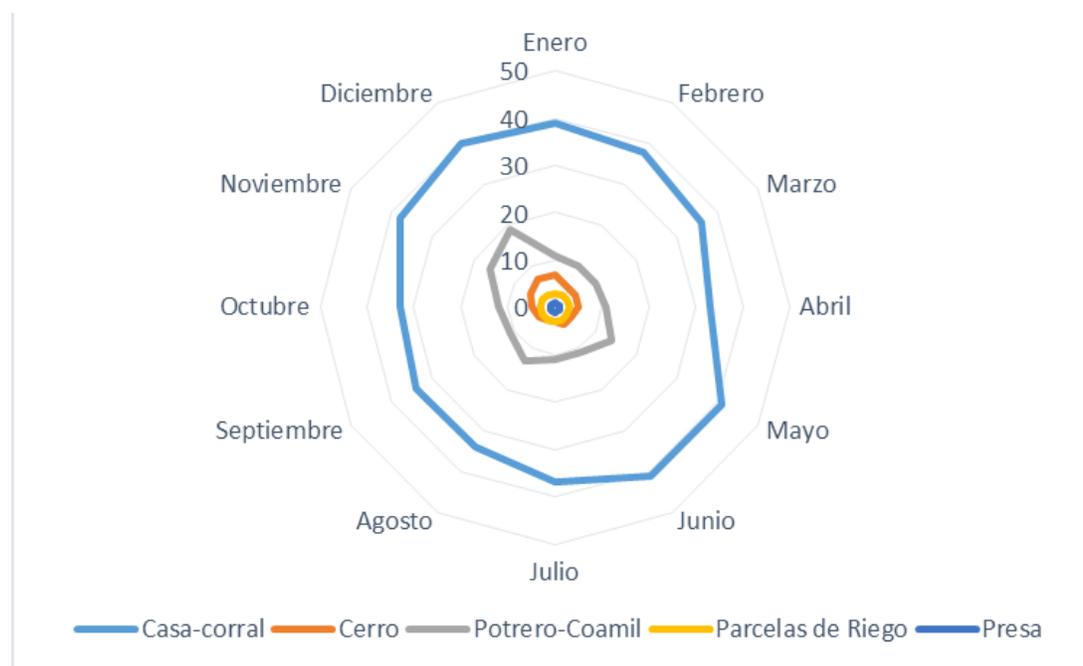
Cada unidad proporciona diferentes alimentos, pero la unidad que más productos alimenticios (es decir, tanto alimentos como insumos para alimentos) proporciona es

la casa-corral con 37, seguido por el potrero-coamil con 20, luego el cerro con siete, las parcelas de riego con tres y la presa con un alimento.

Al momento de la ponderación participativa mediante los perfiles de grupo, se asignó a las casas corral como la unidad más importante para la alimentación (55.3%), seguido por los potreros-coamiles (35.9%), después el cerro (5.6%), la presa (1.9%) y por último las parcelas de riego (1.25%).

En cuanto a la temporalidad en la disponibilidad de alimento, son también las casas-corral las que proporcionan más diversidad de alimentos en todo el año, seguido por los potreros-coamil, el cerro, las parcelas de riego y por último la presa (Figura 7).

Figura 7. Calendario de alimentos por unidad en la comunidad de La Ciénega, Jalisco



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, cuando se les pregunto de dónde provenía el alimento más importante que consumían; 47.2% mencionó que de la comunidad, 28.9% desconoce el lugar de donde provienen, 7.8% sabe que vienen de afuera de la comunidad, pero desconoce el lugar,

1.4% respondió que de la Conasupo,⁵ 1.7% de Despensa DIF,⁶ 2.0% de la presa de Las Piedras y 11% restante saben que vienen de diferentes lugares, desde municipios cercanos hasta lugares más lejanos como el norte de México o Puerto Vallarta.

En cuanto a las vías que los habitantes tienen para obtener alimentos, mediante la ponderación participativa se obtuvo que: 78.1% de los puntos se asignaron a la compra, 15.2% a la producción recolección, 3.1% a las despensas del DIF, 2.8% al intercambio, y 0.9% al regalo.

Hablando de la seguridad alimentaria, 96.6% de los entrevistados comentaron que tenían acceso a alimentos disponibles todo el año en la comunidad: 82.2% menciona que sí tiene acceso a alimentos todo el año, 55.2% tiene acceso a los alimentos que desea, 65.5% tiene acceso a alimentos sanos y de calidad, sin embargo, al momento de preguntarles sobre si hay problemáticas con los alimentos, 48.3% mencionan que sí los hay.

Entre las problemáticas más importantes se encuentran: la inaccesibilidad de los alimentos en la comunidad (ya sea por el alto costo o porque no se pueden encontrar esos alimentos en la comunidad), el alto costo, en especial las carnes, además hay alimentos que no se pueden obtener en la comunidad y tienen que salir de ella para comprarlos, lo que implica un costo extra, también está el hecho de que no se sabe de dónde vienen los alimentos ni cómo se cultivan. Existen también problemas de salud relacionados con la alimentación como el creciente número de casos de enfermedades emergentes que la gente asocia al uso de químicos (diabetes, cáncer, entre otras). Por último, hay problemas con la producción, como las plagas que causan pérdidas en las cosechas, que se siembre para vender, pero no se vende bien o a buen precio, que exista un gran paternalismo del gobierno y que, a través de las despensas, la gente se acostumbra a comer alimentos procesados y abandonan el consumo de alimentos comestibles, y por lo mismo la gente ya no aprovecha los productos que se encuentran en el cerro o en los potreros.

⁵ La Compañía Nacional de Subsistencias Populares, S.A. (Conasupo) fue una paraestatal creada en 1965 por el gobierno de México con la finalidad de regular los mercados de los productos básicos y proteger a los consumidores y productores de bajos ingresos.

⁶ El DIF o Sistemas DIF Municipales son un organismo del gobierno encargado de atender y proteger de manera solidaria y subsidiaria a las personas y familias en condiciones de vulnerabilidad, a fin de colaborar en su desarrollo humano integral, promoviendo una cultura de prevención y en corresponsabilidad con la sociedad (Sistemas DIF Jalisco, 2019).

Taller comunitario de retroalimentación de resultados

Como parte de nuestro estudio, realizamos un taller con los productores para presentar y discutir los resultados obtenidos. El taller tuvo una baja participación en el ejido, ya que en esos momentos tenían otros problemas que les preocupaban más, como la obtención del agua y la delimitación del territorio. Sin embargo, las opiniones vertidas generaron opiniones útiles para contextualizar mejor el tema de los paisajes rurales y su alimentación.

Por un lado, el trabajo les ayudo, ya que fue un recordatorio de su lucha por seguir siendo un ejido y mejorar las condiciones de vida, aunque en el taller se esperaban más recomendaciones para el ejido y no tanto un diagnóstico. Por otro lado, resulta interesante que en el taller varios ejidatarios y autoridades locales plantearon que parte de la unidad, que menos alimentos aportaba a la comunidad (las parcelas de riego), se destinaran a la producción de alimentos para la comunidad, y no sólo para el cultivo de caña de azúcar.

DISCUSIÓN

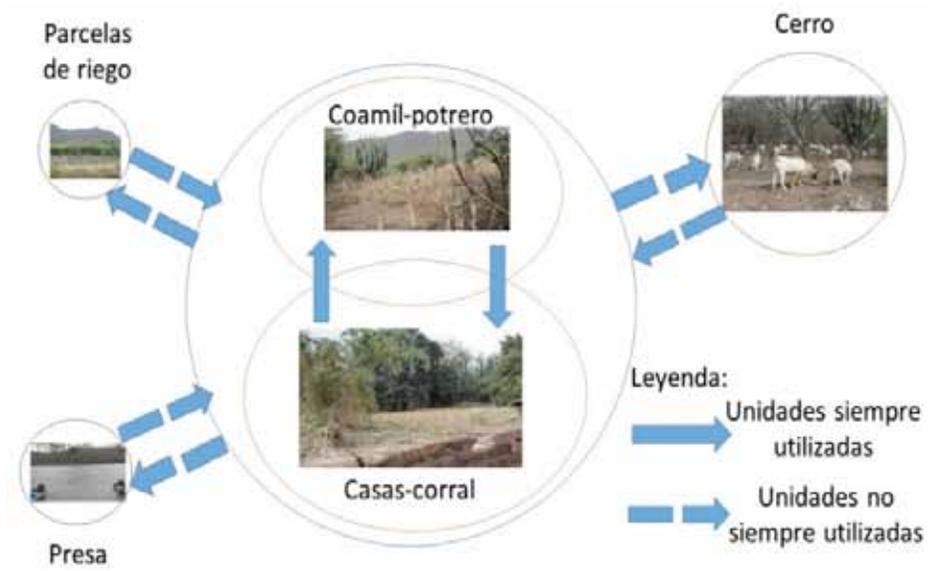
Agrobiodiversidad y alimentación

Tomando los datos anteriores de diversidad de alimentos, ponderación participativa, las estrategias alimenticias y el calendario agrícola, podemos ver a las unidades casas-corral y potreros-coamiles como los sistemas que juegan un papel central en la alimentación de la comunidad, complementándose con otras unidades como el cerro, la presa y las parcelas de riego (Figura 8a). Esto coincide con otros autores, quienes proponen que los sistemas productivos diversificados juegan un papel especial en los medios de vida campesina y en especial en la alimentación (Moreno-Calles *et al.*, 2016; Krishnamurthy *et al.*, 2017).

No obstante, revisando los datos de seguridad alimentaria y de vías para obtener alimentos, en realidad podemos ver que en el sistema agroalimentario de la comunidad es de mayor relevancia la compra de alimentos que los obtenidos del paisaje local (Figura 8b). Por lo cual la relación entre las unidades socioambientales y la seguridad alimentaria es en gran medida determinada por las estrategias particulares de cada familia y / o individuo y en menor medida por las relaciones entre el paisaje y la comunidad.

Figura 8. Sistema agroalimentario de la comunidad de La Ciénega, El Limón Jalisco

a



b



Fuente: Elaboración propia.

En este estudio se ha encontrado evidencia, en distintas partes de México y el mundo, de que la diversidad en la domesticación, desde la cultivada a la silvestre, juega un papel importante en los medios de vida de las personas locales, siendo un mecanismo de adaptación ante diversas circunstancias geográficas, ecológicas y sociales (Redford y Robinson, 1997; Toledo *et al.*, 2003; Estrada-Lugo *et al.*, 2011; Moreno-Calles *et al.*, 2016; Reed *et al.*, 2017; Jaccobi *et al.*, 2019).

Aun con lo anterior, cabe resaltar que tanto en el presente estudio como en otros trabajos a nivel regional (Mastache-De los Santos *et al.*, 2018; Hernández-Araiza, 2019), existe una creciente pérdida de la agrobiodiversidad en variedades, especies y agroecosistemas que están siendo remplazados por monocultivos dirigidos al mercado y la agroexportación, pero que también ligados a cuestiones de superioridad racial y de clase, y ligados también a procesos de colonialismos o neocolonialismos de los alimentos y los territorios, patrón que parece repetirse en otros lugares del mundo (Albán-Achinte, 2010; Escobar, 2017; Jaccobi *et al.*, 2019).

Los tres proyectos agroexportadores, así como los diversos casos anteriormente mencionados, pueden ser interpretados como una implantación e imposición del único mundo posible (MUM), donde las mejores tierras y recursos son puestos a disposición de capital, actores y cosmovisiones externas en detrimento de las necesidades, recursos y medios de vida locales (Escobar, 2017).

La pérdida de la agrobiodiversidad se ha relacionado con diversas funciones y servicios que estos sistemas brindan tanto para la regulación de sus procesos internos, como las personas que dependen de ella de forma directa e indirecta (Altieri y Rosset, 2019), así como de propiedad emergentes interesantes para afrontar retos como el cambio climático y transiciones hacia esquemas de producción sin insumos derivados del petróleo (Carranza-Gallego *et al.*, 2018), por lo cual dicha pérdida impacta no sólo en el menoscabo del patrimonio históricamente construido por las comunidades, sino también en el patrimonio con posibles aplicaciones aún no documentadas por la ciencia occidental, y que a su vez podría generar nuevos beneficios para las comunidades y la humanidad en general.

Sistema agroalimentario y territorio

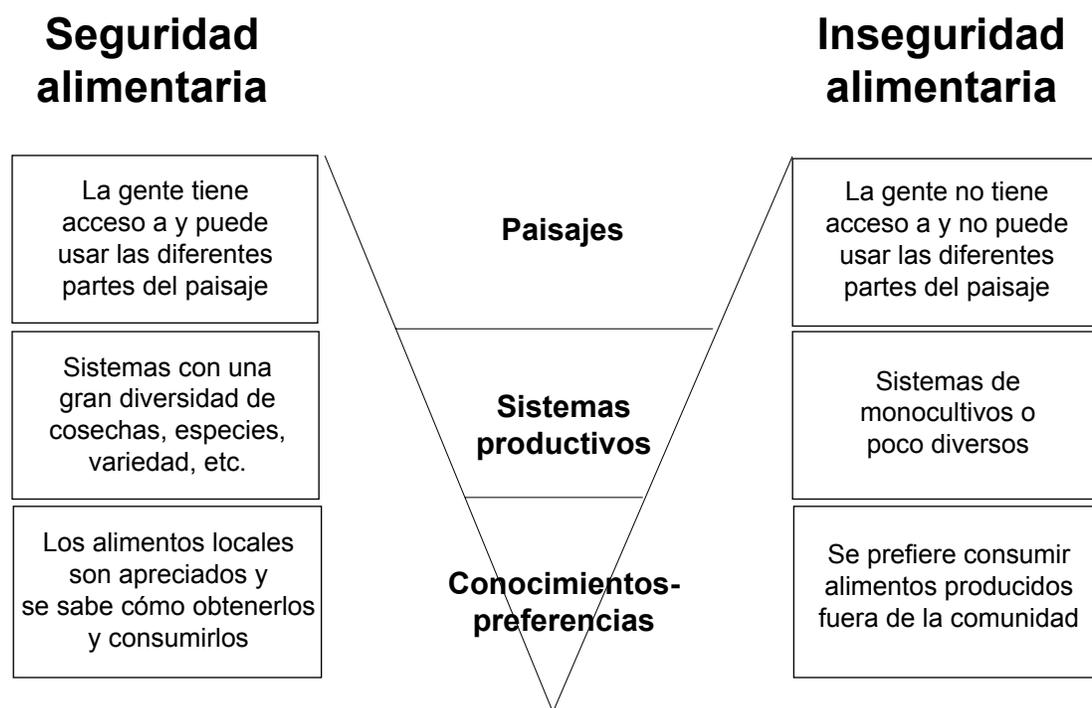
Tanto en el presente estudio como en otros (Jacobbi *et al.*, 2019; Hernández-Araiza, 2019) se puede observar cómo el sistema agroalimentario local es estructurado por la historia de la comunidad, así como diversos actores locales y externos que modifican y son modificados por el paisaje local.

Es por ello, que llevar la discusión a puntos de vista reduccionistas como el *Land Sharing vs Land Sparing*, en el cual se busca generar paisajes donde se conserve la mayor diversidad y la mayor producción posibles; uno mediante la generación de zonas agrícolas intensivas con zonas de conservación restrictivas (*Land Sparing*), y otro mediante la generación de una serie de gradientes de sistemas no intensivos (*Land Sharing*) (Fischer *et al.*, 2014), puede resultar en una nueva imposición de las necesidades y cosmovisiones “globales” sobre las locales, que no toman en cuenta la construcción histórica del paisaje y las necesidades locales.

Por esto, debemos de coincidir en que el debate entre la conservación de la biodiversidad y la generación de alimentos suficientes debe de ir más allá de una simple cuantificación (Fischer *et al.*, 2014) pues resulta más importante entender a mayor profundidad las complejas intercalaciones y dimensiones históricamente construidas que se dan en la dimensión espacial de los sistemas agroalimentarios.

Por último, los datos de estrategias, las problemáticas de la alimentación y recursos alimenticios nos permiten ver al menos tres niveles de seguridad-inseguridad alimentaria, interconectados pero distinguibles. Por un lado, es posible distinguir un escenario de seguridad alimentaria donde las personas tienen acceso y pueden usar las diferentes unidades del paisaje (nivel de paisaje), donde los sistemas tienen una gran diversidad de especies, cultivos, variedades y otras expresiones de la agrobiodiversidad, (nivel sistemas productivos) y por otro, los alimentos locales son valorados y consumidos y se tiene el conocimiento para usarlos (nivel conocimiento-preferencia). En cambio, en la inseguridad alimentaria la gente no tiene acceso a las diferentes unidades del paisaje (nivel paisaje), los sistemas son poco diversos (nivel sistemas productivos) y existe una gran preferencia por los alimentos producidos fuera de la comunidad (nivel conocimiento-preferencia) (Figura 9).

Figura 9. Niveles de seguridad-inseguridad alimentaria en la comunidad La Ciénega, Municipio de El Limón, Jalisco



Investigación y procesos participativos

Como reflexión final, cabe mencionar que aun cuando este trabajo se planteó como una investigación que puede llegar a ser vinculatoria, esperando una gran participación de la comunidad, no se contó con el impacto esperado en la comunidad donde se realizó. Lo anterior, debido a que los objetivos del trabajo fueron planteados desde el escritorio de una universidad y no en el campo con la comunidad, por lo cual se sugiere que para futuros estudios no sólo se intente el trabajo en los espacios y tiempos de la comunidad, sino que se realicen las actividades en común acuerdo entre académicos y actores locales, así como definir los objetivos y tiempos de la investigación; una forma de hacerlo interesante es mediante las agendas participativas (Casas *et al.*, 2017) y procesos a largo plazo con las comunidades.

Por otro lado, una opinión bastante mencionada en el taller fue que la comunidad no sólo pide que se aborde lo que ellos son y ya saben, sino que se realicen recomendaciones para mejorar a la comunidad. Por ello, para futuros resultados, no sólo será

importante estudiar la situación actual o los sistemas de manejo de la comunidad, sino hacer un análisis a profundidad y de forma crítica para generar recomendaciones que, al menos esta comunidad, espera que proporcione la academia.

CONCLUSIÓN

Entre el paisaje y los sistemas alimentarios se dan una serie de interacciones complejas en donde intervienen una serie de actores locales y externos, así como procesos históricos. Hablando de nuestro caso de estudio, podemos ver cómo se da un constante avance de los proyectos de agroexportación sobre las mejores tierras para la producción, acompañados de una inseguridad alimentaria creciente y un remplazo de los alimentos locales por los externos.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto PAPIME-UNAM PE209 Etnoagroforestería y formación transdisciplinaria: “Experiencias nacionales y latinoamericanas”, financiado por la Universidad Nacional Autónoma de México a cargo de la doctora Ana Isabel Moreno-Calles, por la beca de terminación de estudios que permitió la realización de la tesis de la cual deriva este artículo. Y al Laboratorio de Ecosistemas y Agroecosistemas, en especial al Dr. Jesús Juan Rosales-Adame y al Laboratorio de Desarrollo Comunitario, en especial al Dr. Peter R. W. Gerritsen por proporcionar los fondos para llevar a cabo el trabajo en campo y los congresos donde se presentó el actual trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Albán, A., 2010, “Comida y Colonialidad: Tensiones entre el proyecto hegemónico moderno y las memorias del paladar”, en *CALLE14*, 4(5): 10-23.
- Altieri, A., Rosset, P. 2019, *Agroecología: ciencia y política*, Universidad Autónoma de Zacatecas de México, 187 p.
- Barzón, 2018, ¿Quiénes somos?, en <http://elbarzon.mx/quienes-somos/>. Consultado 21/08/18.

- Bickel, G. *et al.*, 2000, *Guide to Measuring Household Food Security*. United States Department of Agriculture, Alexandria, EUA. 82 pp.
- Boege, E., 2005, *Protegiendo lo nuestro: Manual para la gestión ambiental comunitaria, uso y conservación de la biodiversidad de los campesinos indígenas de América Latina*, Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental 3, Red de Formación Ambiental para América Latina y El Caribe, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe de México.
- Carranza, G. *et al.*, 2018, "Contribution of old wheat varieties to climate change mitigation under contrasting managements and rainfed Mediterranean conditions", en *Journal of Cleaner Production*, 195: 111-121.
- Casas, A. *et al.*, 2017, "Ciencia para la sustentabilidad: investigación, educación y procesos participativos", en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88: 113-128.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor), 2011, El programa de pago por servicios ambientales, en <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/2308Programa%20de%20Pago%20por%20Servicios%20Ambientales.pdf>. Consultado 20/08/19.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval), 2010, Medición de la pobreza municipal 2010, en <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Medicion-de-la-pobreza-municipal-2010.aspx>. Consultado: 16/06/19.
- Escobar, A., 2017, *Autonomía y diseño: La realización de lo comunal*, Editorial Tinta Limón de Buenos Aires, Argentina.
- Estrada, I. *et al.*, 2011, "El solar: espacio social y conocimiento tradicional", en Bello, E. y Estrada, I. (Comp.), *Cultivar el territorio maya: Conocimiento y organización social en el uso de la selva*, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.
- Fischer, J. *et al.*, 2004, "Land Sparring Versus Land Sharing: Moving Forward, en *Conservation Letters*", 7(3): 149-157.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2014, *Protected Areas, People And Food Security*, World Parks Congress, Sydney, Australia.
- Gerritsen, R., 2010, *Perspectivas campesinas sobre el manejo de los recursos naturales*, Mundi-prensa/Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara de México D.F. y Autlán de Navarro, Jalisco.
- Geilfus, F., 2002, 80 herramientas para el desarrollo participativo: Diagnostico, planificación, monitoreo y evaluación, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) de San José, Costa Rica.
- Gobierno de Jalisco, 2017, Plan Regional de Desarrollo 2013-2033, Región 07 Sierra de Amula, Portal de transparencia del Gobierno de Jalisco, en <https://transparencia>.

- info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/07.-%20Regi%C3%B3n%2007%20Sierra%20de%20Amula.pdf. Consultado 22/02/17.
- Hernández, M., 2019, *Acercamiento sociológico al uso y manejo de la agrobiodiversidad en la comunidad El Paso Real, Municipio de Tolimán, Jalisco, México*, Tesis de licenciatura en Ingeniería en Recursos Naturales y Agropecuarios, Centro Universitario de la Costa Sur, U de G, México.
- Jaccobi, J. *et al.*, 2019, "Mapping Food Systems: A Participatory Research Tool Tested in Kenya and Bolivia", en *Mountain Research and Development*, 39 (1): R1-R11.
- Krishnamurthy, R. *et al.*, 2017, "Agricultura familiar para el desarrollo rural incluyente. Tierra latinoamericana", 35(2): 135-147.
- Mastache, A. *et al.*, 2018, "Multifuncionalidad de la agricultura campesina en San Miguel Cuyutlán en el área metropolitana de Guadalajara, Jalisco", en *Complexus: Saberes entretnejidos*, 8: 59-72.
- Mateo, J., 2002, *Geografía de los paisajes, primera parte paisajes naturales*, Editorial Universitaria de La Habana, Cuba.
- Moreno, A. *et al.*, 2016, "Ethnoagroforestry: integration of biocultural diversity for food sovereignty in Mexico", en *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12 (54). [online] URL: DOI 10.1186/s13002-016-0127-6.
- Redford, H. y Robinson, J., 1997, "Usos comerciales y de subsistencia de la vida silvestre en América Latina", en Robinson, G., Redford, K. y Robinovich (Comp.), J. E. *Uso y conservación de la vida silvestre neotropical*, Selección de Obras de Ciencia y Tecnología, Fondo de Cultura Económica, CDMX.
- Reed, J. *et al.*, 2017, *Trees for life: The ecosystem service contribution of trees to food production and livelihoods in the tropics*, *Forest Policy and Economics*, 84: 62-71.
- Secretaría de la Reforma Agraria (SRA), 2003, PROCEDE: Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares, en <http://www.sct.gob.mx/obrapublica/MarcoNormativo/3/3-3/3-3-5.pdf>. Consultado 20/08/19.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2017, Estadística de uso tecnológico y de servicios en la superficie agrícola 2017, en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Consultado 16/06/19.
- Sistema DIF Jalisco (DIF), 2019, Nuestra visión/misión, en <https://sistemadif.jalisco.gob.mx/sitio2013/nuestra-mision-vision>. Consultado 22/08/19.
- Toledo, M., 1997, "La diversidad ecológica de México", en Florescano, E. (Coord.) *El Patrimonio Nacional de México*, Tomo I., Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Fondo de Cultura Económico, México.

- Toledo, M. *et al.*, 2003, "The Multiple Use of Tropical Forests by Indigenous Peoples in Mexico: A Case of Adaptive Management," en *Conservation Ecology*, 7(3):9. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol7/iss3/art9>.
- Toledo, M. y Barrera, N., 2008, *La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*, Icaria editorial, S. A., Barcelona, España.
- Urquijo, P. y Bocco, G., 2011, "Los estudios de paisaje y su importancia en México, 1970-2010", en *Journals of Latin American Geography*, 10(2): 37-63.
- Yúnez, A., Barceinas, F., "Efectos de la desaparición de la CONASUPO en el comercio y en los precios de los cultivos básico", en *Estudios Económicos*, 15(2): 189-227.

Aprendizaje basado en problemas como tendencia de innovación curricular en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Colima

Edgar Fidel Lozano Salmorán,¹ Omar Francisco Prado Rebolledo²
y Arturo César García Casillas²

Resumen. *En la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), de la Universidad de Colima (UCOL), se ha tenido la oportunidad de valorar durante tres años la operatividad del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) como estrategia didáctica en los módulos formativos de la profesión. A raíz de esta evaluación, se identificó que la puesta en marcha del método resultaba un tanto ambigua y monótona como resultado de una serie de casos/problemas de aprendizaje que, aunque apegados a la realidad, carecían de significado con relación a las buenas prácticas de la enseñanza de la profesión.*

Por lo tanto, el presente documento pretende aproximarse a una propuesta teórica para el diseño de problemas de aprendizaje que puedan ser ejecutados a través de la metodología activa del ABP como estrategia didáctica. Para lograr el cometido, se indaga sobre las consideraciones conceptuales de sus orígenes, así como los elementos que hacen operativo al método en cuestión. Asimismo, se encuadra el ABP, como una tendencia de innovación educativa, que puede incidir en el currículum de la enseñanza en la FMVZ. Enmarcando una postura de innovación educativa, ligada con el cambio curricular y a la luz de los argumentos explicativos derivados de los fundamentos teóricos de la metodología en cuestión, aunada con la reflexión de lo que es posible innovar y cambiar dentro de sus procesos de planificación, diseño e implementación, con la intención de introducir una mejora al proceso de enseñanza y aprendizaje.

¹ Estudiante de Maestría en Innovación Educativa, Universidad de Colima, Asesor Pedagógico, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima, e-mail: esalmoran@ucol.mx

² Profesor-Investigador, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima, e-mail: omarpr@ucol.mx y cesargarciasillas@hotmail.com

La información recopilada se presenta en tres secciones generales: Argumentos históricos del ABP como tendencia de innovación curricular; Metodología activa del ABP como innovación curricular, y Aproximación conceptual al diseño de problemas de aprendizaje en el ABP de la FMVZ. Cada sección presenta a su vez apartados específicos con elementos conceptuales y empíricos para dar fuerza teórica a las ideas que se discuten. Finalmente, se presenta una reflexión de las conclusiones que se derivaron de la presente revisión y que de alguna forma reflejan la experiencia de un contexto educativo particular.

Palabras clave: *aprendizaje Basado en Problemas, Medicina Veterinaria y Zootecnia, innovación curricular.*

Abstract. *At the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics (FMVZ) of the University of Colima (UCOL). It has been possible to evaluate the operability of Problem Based Learning (PBL) as a pedagogical strategy in the training modules of the profession for three years. As a result of this evaluation, it was determined that the implementation of the method was somewhat ambiguous and monotonous due to a series of learning problems that, although related to reality, lacked meaning in relation to good pedagogical practices.*

Therefore, this document aims to address a theoretical proposal of learning problem design that can be implemented through the active methodology of PBL as a pedagogical strategy. To carry out this task, the conceptual considerations of its origins are examined, as well as the elements that make the method in question operational. Similarly, the PBL is conceived as a trend in pedagogical innovation that can influence the curriculum in the FMVZ. Define a position of educational innovation related to program change, in the light of the explanatory arguments drawn from the theoretical foundations of the methodology in question, associated with the reflection on what is possible to innovate and change in its planning, design processes and implementation, with the intention of improving the teaching and learning process.

The information collected is presented in three general sections: i) historical arguments of the PBL as a trend of curriculum innovation, ii) active methodology of the PBL as curriculum innovation, and iii) conceptual approach to the conception of the problems of the curriculum. Learning in the PBL of the FMVZ. Each section also presents specific sections with conceptual and empirical elements to give theoretical strength to the ideas discussed. Finally, a reflection of the conclusions that were derived from this review and that somehow reflect the experience of a particular educational context is presented.

Keywords: *problem based learning, Veterinary Medicine and Zootechnics, curriculum innovation.*

INTRODUCCIÓN

El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) es una metodología activa de aprendizaje que puede ser usada como estrategia didáctica (Cavanagh *et al.*, 2019). Concebido de esta manera, el ABP consiste en llevar a cabo el aprendizaje a partir de su descubrimiento y construcción (Aldayel *et al.*, 2019), lo que representa una pedagogía activa que se separa totalmente de lo expositivo o magistral (Tudor *et al.*, 2019). Al respecto, los siguientes subapartados hacen referencia a la concepción del ABP como método válido para la enseñanza y el aprendizaje, así como los fundamentos teóricos que le dan la solidez para soportar la popularidad que actualmente se ha ganado.

Orígenes y fundamentos de la metodología activa del ABP como tendencia de innovación

Con respecto a los orígenes del ABP, Sayyah *et al.* (2017) reportaron el comienzo de su práctica en la educación médica, por esta razón se equiparán a menudo problemas de aprendizaje con casos clínicos. Bodagh *et al.* (2017) y Dolmans *et al.* (2016) señalaron a *McMaster University*, en Canadá, como la cuna del surgimiento de esta metodología durante la década de los sesenta. Por otro lado, en las últimas dos décadas, esta estrategia de aprendizaje ha sido tendencia de innovación en licenciaturas de la salud, en las universidades norteamericanas y europeas (Cavanagh *et al.*, 2019; Kim, 2019; Tudor *et al.*, 2019).

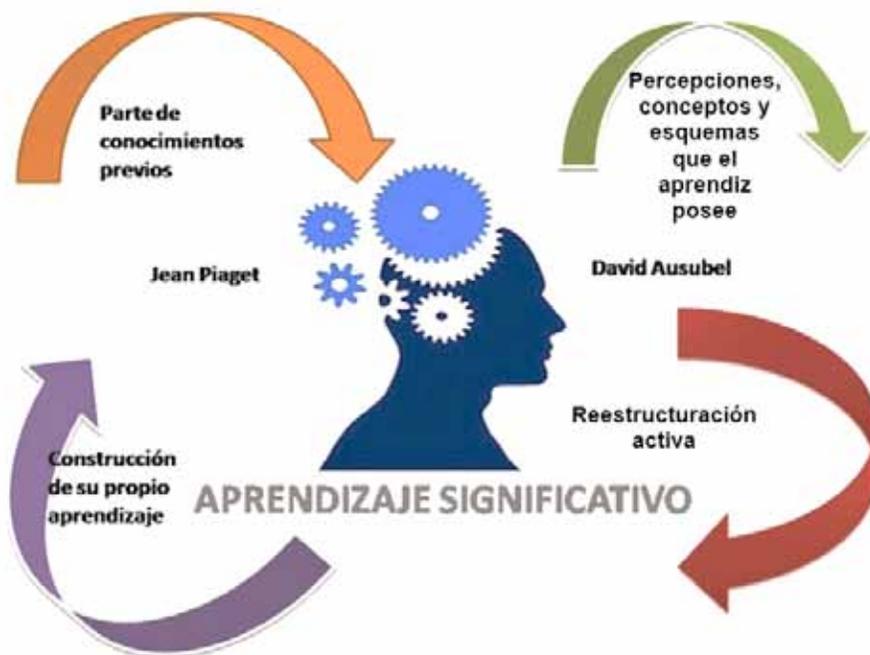
El ABP es una metodología en la que se investiga, interpreta, argumenta y propone la solución a uno o varios problemas (Tudor *et al.*, 2019). Estos “casos” o problemas de aprendizaje son situaciones en las que los estudiantes probablemente se encontrarán en la vida real (Mistry *et al.*, 2019). Si se indaga en los fundamentos teóricos que le han dado el sustento necesario para que el ABP sea respaldado como una estrategia didáctica, para mediar el binomio de enseñanza y aprendizaje, se puede inferir como lo señala Cavanagh *et al.* (2019), que el ABP fue adoptado como un nuevo enfoque en la educación, como respuesta a la demanda estudiantil de no basar su aprendizaje en la memorización, ya que posteriormente presentaban problemas en su desempeño práctico.

El ABP se amparó en un enfoque teórico diferente al clásico conductismo que procuraba la memorización como evidencia de haber llegado a un conocimiento, y se centró más en el estudiante, concibiéndolo como un sujeto capaz de construir e influir en su propio aprendizaje (Aldayel *et al.*, 2019). En ese sentido, Loyens *et al.* (2006) expresan que el constructivismo es la base psicopedagógica del ABP. Asimismo, la perspectiva constructivista del ABP, de acuerdo con Kantar (2014), se describe como un proceso que

resulta de la interacción con el entorno, así, el estudiante es el centro del proceso educacional y quien construye su nuevo conocimiento. Al respecto, Piaget (figura, 1) en el año 1975, en Rowan *et al.* (2007), añade que el estudiante está en la condición de transformar el conocimiento con la finalidad de llegar a comprenderlo.

Otro elemento teórico que respalda la metodología activa del ABP, y que a su vez es una característica importante en su operatividad actual, está en sintonía con el pensamiento de Vigotsky en el año 1989, en Bodagh *et al.* (2017), cuando manifiesta que el aprendizaje despierta una serie de desarrollos evolutivos internos, capaces de operar únicamente cuando se interactúa y se trabaja cooperativamente con otras personas. Finalmente, el ABP también se sustenta en la teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel (figura, 1), en el año 1976, en Dolmans *et al.* (2016), quien postula que el aprendizaje implica una reestructuración activa de las percepciones, ideas, conceptos y esquemas en su estructura cognitiva.

Figura 1. Aportaciones de Jean Piaget y David Ausubel en la teoría del Aprendizaje Significativo



Fuente: Elaboración propia.

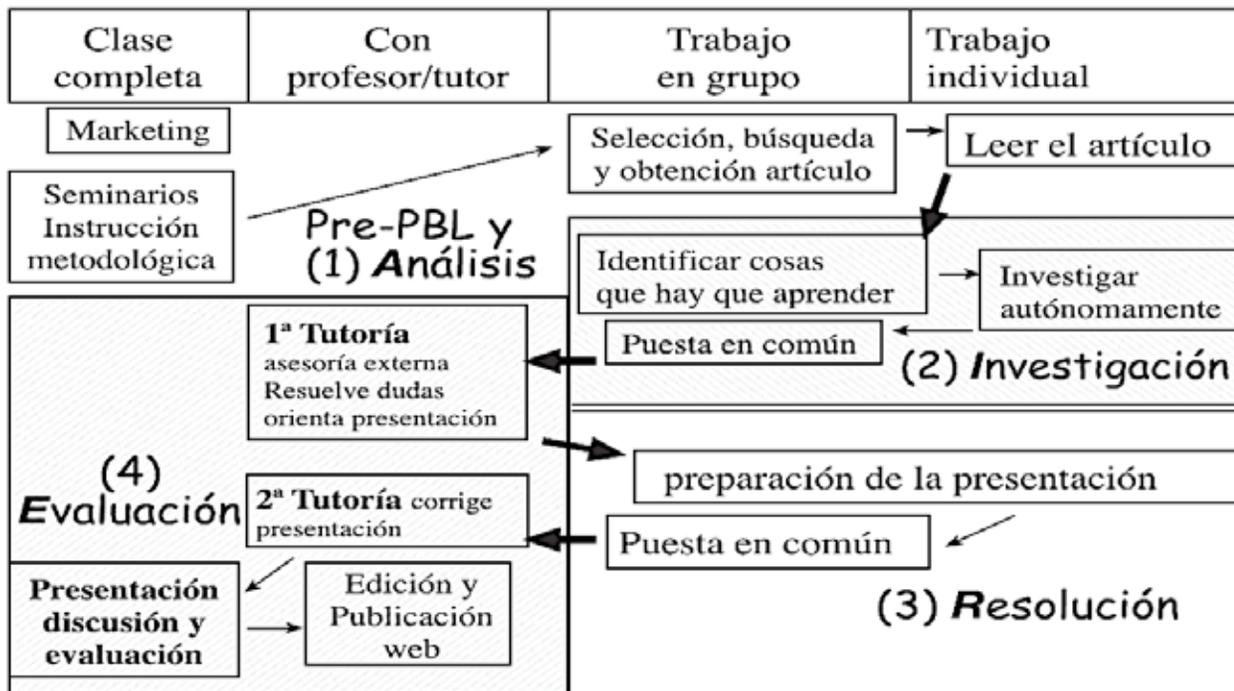
El ABP es una metodología didáctica de naturaleza activa, que surgió por la necesidad de que el conocimiento y el aprendizaje estuvieran centrados en el estudiantado (Jin y Bridges, 2014) y, al no ser un método infalible puede, en sintonía con lo expresado por Azer y Azer (2015), ser ajustado, adaptado y moldeado de acuerdo con las necesidades de un contexto escolar.

Qué se puede innovar en el ABP

La metodología del ABP es susceptible a procesos de innovación, si se le concibe como una tendencia curricular integradora (Tudor *et al.*, 2019), de hecho, se admite que en la evaluación, el diseño de casos/problemas de aprendizaje y el alcance del modelo, son atractivos yacimientos para la gestión de cambios que mejoren procesos, procedimientos, instrumentos, estructuras e incluso impregnen el ABP con nuevas metodologías (Sayyah *et al.*, 2017; Kim, 2019). Al respecto, es oportuno señalar que todos los procesos que se planifican, operan y ejecutan en el ABP son susceptibles a innovación (Bodagh *et al.*, 2017). Obviamente lo anterior no responde a un capricho curricular, sino a un cambio bien intencionado que deberá responder a un análisis formal de las necesidades del contexto escolar (Dolmans *et al.*, 2016).

En la experiencia de Chávez *et al.* (2016), se reporta que a partir del ABP, unido a dispositivos móviles, se generaron nuevas propuestas de aprendizaje, al combinar elementos de presentación, discusión y solución de un caso clínico real *in vivo* desde el hospital y la intervención a distancia por parte de los estudiantes, mediante una aplicación llamada *Periscope*. En ese sentido, la propuesta innovadora consistió en integrar la metodología del ABP con los alcances que plantea el *m-learning*, y de esta forma potenciar la ventaja de trascender la barrera de la distancia. La intervención de Prieto *et al.* (2006) planteó un nuevo enfoque metodológico para el desarrollo del aprendizaje, al que denominó ABP 4x4 (figura, 2), o de cuatro fases: Análisis, Investigación, Reanálisis/resolución y Evaluación, además de cuatro escenarios de trabajo: Individual, Con Tutor, Sin Tutor y Clase completa.

Figura 2. Secuencia de trabajo en nuestra actividad de aprendizaje ABP 4x4 realizado en cuatro fases y cuatro escenarios



Fuente: Prieto *et al.*, 2006.

La experiencia de esta práctica permite situar un mayor alcance con grandes números de estudiantes. Goset (2010) propone el uso de la narrativa multimedia (entendida como la información abordada por diversos medios digitales) durante la resolución de problemas de aprendizaje, como herramienta mediadora en el proceso de enseñanza. Aquí, se explica como el ABP también puede incidir en la transformación del docente (Qin *et al.*, 2016), para que éstos, en el desafío de ser facilitadores, consideren los factores afectivos y cognitivos como ejes direccionales de su labor; Así como, se preocupa por crear la situación o ambiente ideal para que se desarrolle con éxito el ABP en los centros educativos.

La metodología activa del ABP como innovación curricular

La característica más innovadora del ABP, según lo manifiesta Bodagh *et al.* (2017), es el uso de problemas de aprendizaje como punto de partida para la adquisición de nuevos conocimientos, asimismo la concepción del estudiante como protagonista de la gestión de su aprendizaje. A partir de esta declaración, se infiere que innovar desde esta perspectiva es algo valioso, ya que se estaría incidiendo en él: ¿cómo se enseña y se crean situaciones de aprendizaje?, evidentemente se trataría de un cambio del currículo, que propone encontrar, incluso dentro de la metodología en cuestión, los procesos de aprendizaje más idóneos.

¿Qué son los problemas de aprendizaje en el ABP y cuál es su papel en esta metodología activa?

Los problemas de aprendizaje, generalmente, consisten en una descripción de lenguaje muy sencillo y poco técnico, de conjuntos, hechos o fenómenos observables, que plantean un reto o una cuestión, es decir, que requieren explicación (Goset, 2010). Por otra parte, se señala que el problema de aprendizaje debe ser interesante y relevante para los estudiantes, de manera que éste capte su atención (Onyon, 2012). Esto sin lugar a dudas implica que lo que se ha de problematizar, deberá reflejar la complejidad de los problemas de la vida real, es decir, la naturalidad del contexto (Jin y Bridges, 2014).

Crear un caso oportuno para ejecutarse bajo la metodología del ABP es una cuestión crítica que ayuda a determinar si el trabajo del estudiantado, en la construcción de su aprendizaje y éste mismo como resultado final de un proceso de enseñanza, será un logro significativo o no (Dolmans *et al.*, 2016; Bodagh *et al.*, 2017). En apoyo a esta declaración, Sayyah *et al.* (2017) manifestaron que los problemas de aprendizaje con los que se inicia esta metodología activa, constituyen un factor clave para el desempeño óptimo del ABP.

¿Cómo se diseñan los problemas de aprendizaje en el ABP?

En la actualidad, se presentan tres dimensiones generales en las que confluyen las orientaciones más utilizadas en el diseño de problemas de aprendizaje: i) las basadas en principios educativos y de aprendizaje, principalmente de tipo constructivista (Patil y Kudte,

2017), ii) las fundamentadas a partir de bases filosóficas (Lara *et al.*, 2017) p. ej., no estructurados o brunerianos, y viceversa, y iii) las que reúnen una serie de recomendaciones o principios generales de elaboración a manera de una lista de cotejo, éstas suelen ser complicadas, aunque, en definitiva, intentan ser de utilidad para la elaboración de problemas de aprendizaje (Onyon, 2012).

La primera dimensión, quizá la más recurrente, contempla el diseño del problema a partir del objetivo de aprendizaje, que se desprende de las competencias profesionales que deben ser alcanzadas por los estudiantes del curso o de un programa educativo (Merisier *et al.*, 2018; Wosinski *et al.*, 2018). En la segunda dimensión, la variedad en las cuestiones filosóficas, estructuradas y no estructuradas, es tan diversa, como las necesidades de quienes diseñan y escriben los problemas (Lara *et al.*, 2017; Cavanagh *et al.*, 2019). Es decir, se puede encontrar desde problemas rígidamente estructurados y con un grado elevado en los detalles, hasta problemas abiertos o mal definidos, que no presentan datos y en los que queda en manos del estudiante la investigación del problema y, en cierta medida, su definición y solución (Guisasola y Garmendia, 2015).

Por último, en la tercera dimensión se diseñan problemas de aprendizaje a partir de una lista de generalidades, las cuales deben integrar diversas recomendaciones. En ese sentido, la estructuración de un problema de esta índole debe garantizar la motivación del estudiantado, debe llevarlo a elaborar juicios propios y tomar decisiones basadas en hechos, así como, a enlazar conocimientos previos con los nuevos, promover la discusión y desarrollar el trabajo colaborativo (Ramírez y Navarro, 2015; Garzón, 2017).

Una aproximación conceptual al diseño de problemas de aprendizaje para el ABP en MVZ

Para desarrollar los beneficios que propone el ABP, se requiere de un estudio profundo del “fondo” de esta metodología y de la materia prima que lo hace operable (Merisier *et al.*, 2018; Wosinski *et al.*, 2018). Con respecto a la construcción y estructuración de problemas de aprendizaje, la idea de los autores referidos coincide con la experiencia de la FMVZ en la UCOL (figura 3). Donde se presenta un desafío curricular que busca acrecentar las buenas prácticas educativas y formativas en áreas terminales de la profesión.

Figura 3. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Colima



Fuente: Captura personal.

El ABP debe ser un proceso eficiente de enseñanza-aprendizaje, donde los estudiantes de la FMVZ puedan apropiarse de los contenidos curriculares que les han de preparar para desempeñarse de manera efectiva en su campo laboral. Lo anterior, se puede lograr, a partir de una aproximación epistemológica de la Medicina Veterinaria y Zootecnia (MVZ), con respecto a las ciencias de la salud, acompañada de una reflexión pragmática con relación a la enseñanza de la clínica y producción animal en escenarios y contextos reales (Arbesú y Ruiz, 2016; Vélez y Ruiz, 2017).

Ejemplo de la metodología activa del ABP en la FMVZ de la UCOL. Caso: Enfermedades de campaña y reporte obligatorio en aves de producción de carne y huevo

Marco referencial, expediente clínico y palabras clave en el caso ejemplo

La erradicación del hambre es un desafío al que la *Food and Agriculture Organization* (FAO) no puede, y no debe enfrentarse sola. En consecuencia, los profesionales en producción animal deben conocer los diferentes sistemas de producción avícola, garantizar las cinco libertades del bienestar animal y considerar muchos aspectos antes de iniciar la cons-

trucción de un centro de producción pecuaria, p. ej., **componentes ecológicos, componentes biológicos, susceptibilidad del huésped, interacción agente-huésped-ambiente y programas de control de enfermedades.**

Sin lugar a duda, el **sector avícola** es uno de los más importantes en el aporte de proteína animal a la población humana. En este sentido, se requiere llevar diferentes tipos de registros para permitir tomar decisiones de forma rápida y eficiente, además de una actualización constante en cursos de formación continua que frecuentemente se realizan en el país, donde destacan las áreas de antibioresistencia, inocuidad alimentaria, bienestar animal, etología, así como la **trazabilidad de productos**. Este último, es el campo de ejercicio profesional que el dueño de un centro de producción pecuaria le encomendó a un MVZ, para mantener su empresa vigente y la posición de sus productos en el mercado.

El MVZ en cuestión ha recibido los registros productivos en su móvil, a través de la aplicación (*chickenApp*). El centro de producción pecuaria se encuentra ubicado en una zona con alta densidad avícola. De acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas (**NOM's**) para las aves domésticas, los criterios de **bioseguridad** en el centro de producción pecuaria se han vuelto todo un desafío, debido a la cercanía con las demás granjas. La aplicación *ChickenApp* emite una alerta cuando un parámetro se eleva sobre la referencia de la empresa y del **manual de producción de la estirpe de pollo de engorda (Ross)**. Debido a que la mortalidad aparentemente está por arriba del promedio, el MVZ solicita al encargado sus **registros de necropsia**, encontrando los siguientes hallazgos clínico-patológicos:

1. Estornudos, estertores traqueales, conjuntivitis, exudado nasal, diarrea verde, incoordinación y torticollis en aves vivas; y
2. Hemorragias en grasa coronaria, proventrículo, ciegos e intestino delgado y en el istmo, edema facial y úlceras de tipo botón en intestino en 80% de las aves inspeccionadas a la necropsia.

Se tomaron muestras para un estudio histopatológico y se encontraron las siguientes lesiones:

1. Sistema nervioso. Encefalomiелitis no purulenta con degeneración neuronal, focos de células gliales, infiltración perivascular de linfocitos y proliferación de células endoteliales en cerebelo, médula, cerebro medio, tallo encefálico y médula espinal;

2. Sistema vascular. Miocarditis, necrosis focal de miofibras e infiltración de células mononucleares;
3. Sistema respiratorio. Edema en tráquea y sacos aéreos, necrosis y descamación epitelial, infiltración de heterófilos seguida de hiperplasia del epitelio e infiltración de linfocitos y células mononucleares;
4. Aparato intestinal. Necrosis y hemorragias en tejido linfoide e intestino, hemorragias en proventrículo, asociado a necrosis; y
5. En serología, se utilizó la prueba de Inhibición de hemoaglutinación y se formó un botón rojo en el fondo de la celdilla, como consecuencia de la sedimentación de los eritrocitos no aglutinados, debido a que las inmunoglobulinas del suero reaccionaron con el antígeno inhibiendo su capacidad de aglutinar eritrocitos.

Objetivo general en el caso ejemplo

Comprender los diferentes sistemas de producción avícola y sus parámetros de producción, identificando las enfermedades más comunes en pollos de engorda durante el desarrollo/finalización, con atención especial en su diagnóstico clínico.

Objetivos específicos en el caso ejemplo

- Conocer los objetivos y sistemas de producción de la *Food and Agriculture Organization*;
- Conocer las cinco libertades del bienestar animal, las buenas prácticas de producción y los componentes que integran la bioseguridad;
- Identificar los principales componentes epizootiológicos para establecer un diagnóstico diferencial y definitivo;
- Manejar los diferentes registros que se utilizan en empresas pecuarias, y
- Elaborar una historia clínica mediata e inmediata, así como la descripción de la técnica de necropsia en la especie, y toma y envío de muestras para pruebas complementarias.

Malla curricular en el caso ejemplo

Cuadro 1. Malla curricular¹. Caso: “Enfermedades de campaña y reporte obligatorio en aves de producción de carne y huevo”

| Saberes teóricos (contenidos zootécnicos) | Saberes teóricos (contenidos clínicos) |
|---|---|
| Conocer el origen, razas, líneas, situación actual e importancia de los sistemas de producción y alimentación de las aves, en el contexto nacional e internacional. | Conocer los procedimientos para el diagnóstico, tratamiento, control y prevención de las principales enfermedades de las aves domésticas. |
| Conocer las especificaciones técnicas, así como las medidas de bioseguridad que deben cumplir las instalaciones destinadas a la producción de aves. | Reconocer las manifestaciones clínicas de las aves con padecimientos del aparato respiratorio y digestivo. |
| Comprender las directrices del manejo zootécnico y procesamiento de aves productoras de carne y huevo. | Reconocer las manifestaciones clínicas de las aves con padecimientos del sistema nervioso. |
| Identificar los factores que afectan la salud y enfermedad de aves, que sirve como base lógica para la aplicación de programas de sanidad integrales. | Reconocer las manifestaciones clínicas de las aves con padecimientos del sistema inmune. |

1 Módulo III Aves SM: ABP. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), de la Universidad de Colima (UCOL).

Actividades lectivas: de investigación y discusión en el caso ejemplo

PRIMER BLOQUE DE ACTIVIDADES

Actividades para discusión

- ¿Cuáles son los objetivos de la FAO?;
- Mencione las cinco libertades de bienestar animal y las buenas prácticas de producción;
- Mencione los diferentes sistemas de producción, tomando de referencia a la FAO;
- Describa cada uno de los diferentes componentes epizootiológicos;
- ¿Cuál es el consumo *per capita* de huevo, carne de pollo y carne de pavo?;

- ¿Cuál es el volumen de la parvada nacional de pollo de engorda al ciclo, gallina de postura y pavos?;
- Mencione las empresas avícolas mexicanas de pollo de engorda, producción de huevo para plato y pavo, dónde se localizan, producción por ciclo y estirpe;
- Mencione los diferentes tipos de registros que se deben de implementar en las empresas avícolas y agregue un ejemplo de cada uno de ellos;
- Mencione los nombres de los diferentes foros científicos avícolas que se realizan en México;
- En qué consiste la trazabilidad;
- Mencione los diferentes *status* sanitarios de la NOM de IA y ENC, qué criterios se deben de tomar si proceden aves vivas, pollo recién nacido, aves procesadas de una zona en fase de control a zona libre;
- Mencione los requisitos que se deben de tener para transportar productos y subproductos avícolas, de acuerdo a la NOM's;
- ¿Cuántos países son miembros de la Organización Mundial de Sanidad Animal y mencione si México pertenece y dónde está la sede permanente?;
- Enliste y describa la página de la red científica mundial para el control de la Influenza aviar, y
- ¿Qué es el *World Animal Health Information System*?

Actividades para investigación

- De las NOM's oficiales para aves, diseñe un cuadro comparativo de las distancias mínimas que deben de presentar los centros de producción en las diferentes áreas (progenitoras, reproductoras, aves de engorda e incubadora) de un predio a otro;
- Realice un mapa epizootiológico de México para las enfermedades de campaña, donde delimite a través de código de colores los diferentes *status* zoonosanitarios;
- Perfíle un registro de unidad de producción avícola bajo esquema de vacunación para Influenza aviar;
- Elabore una ficha de unidades de producción avícola;
- De la página de la Organización Mundial de Sanidad Animal, con base en el reporte de Influenza aviar de alta patogenicidad en el mundo, coloree de rojo las zonas geográficas del mundo donde se presenten brotes, y
- Realice una lista de enfermedades infecciosas e infestaciones de la lista de la Organización Mundial de Sanidad Animal que se encuentra en vigor.

SEGUNDO BLOQUE DE ACTIVIDADES

- La metodología diagnóstica para enfermedades en aves, es un proceso ordenado y sistemático, que incluye dentro de sus pasos:
 - Historia clínica de la granja. Establezca una historia clínica dividida en mediata e inmediata;
 - Examen clínico de la parvada. Realice un examen clínico;
 - Examen de necropsia. Ejecute una técnica de necropsia en aves;
 - Diagnóstico clínico presuntivo. Elabore un cuadro comparativo que incluya: enfermedad, sistema afectado, difusión, período, etiología, sinonimias, signos, lesiones y efectos productivos, y
 - Selección, conservación y envío de muestras para Newcastle e Influenza aviar. Describa el tipo de aves vivas que debe seleccionar para la toma de muestra y si son aves muertas que debe de considerar para la toma de muestra. Anote ejemplos de obtención y conservación de muestras para diferentes estudios y las técnicas diagnósticas oficiales para Newcastle e Influenza aviar.
- Posteriormente, a manera de complemento:
 - Mencione ¿cuáles son las técnicas diagnósticas más utilizadas para la identificación del patógeno, y su principio inmunológico/bioquímico?;
 - Mencione las principales técnicas de Eutanasia en aves, y
 - De acuerdo al tamaño de la parvada, y con base en las NOM's para aves, ¿cuál es el tamaño de muestra que debe de coleccionar para que sea estadísticamente representativa?

Métodos, criterios e instrumentos de evaluación en el caso ejemplo

Cuadro 2. Métodos, criterios e instrumentos de evaluación.¹ Caso: “Enfermedades de campaña y reporte obligatorio en aves de producción de carne y huevo”

| Metodología | Criterio | Instrumento | Valor (%) |
|--------------------------|---|---|-----------|
| Discusión | Habilidades de razonamiento, estudio independiente e interacción. A partir de actividades de discusión | Escala estimativa | 10 |
| Portafolio de evidencias | Evidencias de actividades de introducción Evidencias de actividades de investigación | Guía de actividades con descripción y valor | 40 |
| Producto integrador | Elaboración de un programa de bioseguridad Diseño de un cuadro de recomendaciones con medidas de prevención, control y tratamiento, así como una guía de medidas en casos de contingencia por presencia de enfermedades de campaña | Rúbrica | 30 |
| Examen | Examen único: tipo CENEVAL, ² objetivo, colegiado, sancionado y verificado por la academia. | Preguntas del examen | 20 |

¹ Módulo III Aves SM: ABP. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), de la Universidad de Colima (UCOL); Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior.

Repensar el diseño de los problemas, desde el conocimiento empírico de las buenas prácticas de la enseñanza y su contexto

Para el caso de la FMVZ y en virtud de la experiencia que se ha ganado en tres años con respecto a la utilización del ABP como estrategia didáctica, se plantea la idea de diseñar problemas de aprendizaje a partir del conocimiento empírico y de las buenas prácticas de la enseñanza y su contexto; o como también lo sugirió Mendoza *et al.* (2018), guiar la elaboración de problemas a partir de la evidencia empírica de la profesión.

Al respecto, es preciso clarificar que la formación en MVZ recibe la influencia de dos paradigmas de estudio, por un lado, la visión clínica y sanitaria de la medicina animal y, por el otro, la producción y zootecnia de las especies productivas de cada región (Onyon, 2012). Por lo tanto, es necesario reflexionar desde la experiencia práctica ¿cómo debería ser la enseñanza integradora de la MVZ implícita en escenarios y contex-

tos reales? Esto trae necesidades imperantes que conecten, de manera clara y evidente, la clínica con la producción animal (Azer y Azer, 2015; Bodagh *et al.*, 2017), de tal manera que en las áreas terminales o profesionalizantes (módulos formativos), se conciba una enseñanza homogénea de la profesión (Agüera *et al.*, 2015).

Finalmente, Camacho *et al.* (2007), Loyens *et al.* (2006) y Ramírez y Navarro (2015) describieron cómo la operatividad del ABP puede transformar el contexto social y cultural de cada plan de estudios. Por lo tanto, se fortalece la importancia del diseño de los problemas de aprendizaje como eje principal para gestar el cambio del currículo, e introducir una experiencia de innovación educativa que puede incidir, en algún factor, en la calidad de la enseñanza de la educación en MVZ.

CONCLUSIONES

La idea rectora, motivo de los argumentos y categorías explicativas que se discutieron a lo largo del presente documento, concibe el diseño de problemas de aprendizaje imbricado en la validez del conocimiento epistemológico de la Medicina Veterinaria y Zootecnia y, posteriormente, legitimado con la experiencia de las buenas prácticas de la enseñanza en el contexto de la licenciatura, con la intención de desarrollar competencias disciplinares en alumnos de esta profesión. Con base en lo anterior, es factible que la propuesta concebida pueda transpolarse hacia otros contextos y centros educativos, de tal suerte que pueda servir como ejemplo para que se introduzcan cambios de mejora, ya sea en el mismo diseño de problemas, o bien, en alguno de los tantos aspectos operativos del aprendizaje basado en problemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Agüera, I. *et al.*, 2015, "Approaching the classroom into the labor market in veterinary", en *REDU*, 13(3): 83-96.
- Aldayel, A. *et al.*, 2019, "Problem-based learning: medical students' perception toward their educational environment at Al-Imam Mohammad Ibn Saud Islamic University", en *Adv Med Educ Pract* 10(1): 95-104.
- Arbesú, I. y L. Ruiz, 2016, "Aprendizaje y servicio: una forma de vincular docencia, investigación y servicio. Experiencia en la UAM-Xochimilco, México", en *Voces y silencios. Revista Latinoamericana de Educación*, 7(2): 138-148.

- Azer, A. y D. Azer, 2015, "Group interaction in problem-based learning tutorials: a systematic review", en *Eur J Dent Educ*, 19(4): 194-208.
- Bodagh, N. et al., 2017, "Problem-based learning: a review", en *Br J Hosp Med (Lond)* 78(11): C167-C170.
- Camacho, M. et al., 2007, "La licenciatura en zootecnia en el sistema universitario mexicano: propuesta de reforma curricular", en *Rev Educación Superior*, 36(143): 107-116.
- Cavanagh, A. et al., 2019, "Problems of problem-based learning: towards transformative critical pedagogy in medical education", en *Perspect Med Educ*, 8(1): 38-42.
- Chávez, G. et al., 2016, "Problem based learning through m-learning for the approach to clinical cases. An innovative proposal in medical education", en *Innov Educ (Méx. DF)*, 16(72): 95-112.
- Dolmans, D. et al., 2016, "Deep and surface learning in problem-based learning: a review of the literature", en *Adv Health Sci Educ Theory Pract*, 21(5): 1087-1112.
- Garzón, F., 2017, "El aprendizaje basado en problemas", en *Revista Educación y Desarrollo Social*, 11(1): 8-23.
- Goset, J., 2010, "El diseño de casos en el ABP. Requerimientos cognitivos y afectivos mediados con tecnología", en *REIRE*, 3(1): 96-100.
- Guisasola, J. y M. Garmendia, 2015, "Problem-based learning projects and cases. Design and implementation of college experiences", en *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1): 227-228.
- Jin, J. y S. Bridges, 2014, "Educational technologies in problem-based learning in health sciences education: a systematic review", en *J Med Internet Res*, 16(12): e251-e221.
- Kantar, L., 2014, "Incorporation of constructivist assumptions into problem-based instruction: a literature review", en *Nurse Educ Pract*, 14(3): 233-241.
- Kim, J., 2019, "Observational application comparing problem-based learning with the conventional teaching method for clinical acupuncture education", en *Evid Based Complement Alternat Med*, 2019(1): 210-220.
- Lara, V. et al., 2017, "Critical thinking development through the implementation of problem-based learning", en *Psicología Escolar e Educativa*, 21(1): 65-77.
- Loyens, M. et al., 2006, "Students' conceptions of constructivist learning: a comparison between a traditional and a problem-based learning curriculum", en *Adv Health Sci Educ Theory Pract*, 11(4): 365-379.
- Mendoza, Y. et al., 2018, "Nuevos escenarios de aprendizaje, un reto pedagógico", en *Rev Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 1(2): 34-39.
- Merisier, S. et al., 2018, "How does questioning influence nursing students' clinical reasoning in problem-based learning? a scoping review", en *Nurse Educ Today*, 65(1): 108-115.

- Mistry, K. *et al.*, 2019, "Digital problem-based learning: an innovative and efficient method of teaching medicine", en *J Med Educ Curric Dev*, 6(1): 2382-2398.
- Onyon, C., 2012, "Problem-based learning: a review of the educational and psychological theory", en *Clin Teach*, 9(1): 22-26.
- Patil, M. y S. Kudte, 2017, "Teaching learning with constructivist approach", en *IJEDR*, 5(4): 308-312.
- Prieto, M. *et al.*, 2006, "Un nuevo modelo de aprendizaje basado en problemas, el ABP 4x4 es eficaz para desarrollar competencias profesionales valiosas en asignaturas con más de 100 alumnos", en *Aula abierta*, 87(87): 171-194.
- Qin, Y. *et al.*, 2016, "The effect of problem-based learning on improvement of the medical educational environment: a systematic review and meta-analysis", en *Med Princ Pract*, 25(6): 525-532.
- Ramírez, O. y V. Navarro, 2015, "The problem based-learning and its usefulness in curriculum development in health sciences", en *Rev Fac Med*, 63(2): 325-330.
- Rowan, J. *et al.*, 2007, "Problem based learning in midwifery-the teachers perspective", en *Nurse Educ Today*, 27(2): 131-138.
- Sayyah, M. *et al.*, 2017, "Use of a problem-based learning teaching model for undergraduate medical and nursing education: a systematic review and meta-analysis", en *Adv Med Educ Pract*, 8(1): 691-700.
- Tudor, L. *et al.*, 2019, "Digital problem-based Learning in health professions: systematic review and meta-analysis by the digital health education collaboration", en *J Med Internet Res*, 21(2): e12945-e12954.
- Vélez, J. y L. Ruiz, 2017, "Reflection on the process of learning-teaching of Veterinary Anatomy", en *Int J Morphol*, 35(3): 888-892.
- Wosinski, J. *et al.*, 2018, "Facilitating problem-based learning among undergraduate nursing students: a qualitative systematic review", en *Nurse Educ Today*, 60(1): 67-74.

Factores que influyen en la efectividad de la planeación ambiental

Marta Magdalena Chávez Cortés¹

Resumen. *Independientemente del enfoque de planeación que se use, existen distintas barreras para que los procesos de planeación ambiental se vuelvan efectivos en la práctica y abonen a la transición hacia la sustentabilidad. El propósito de este trabajo es indagar y explicar los factores que pueden incidir en la efectividad de este campo de estudio; darles una estructura, y describir a grandes rasgos sus posibles sinergias. Para lograrlo, se hace una investigación documental sobre este tema, basada en la revisión de literatura teórica y práctica relacionada con la solución de problemas ambientales. Los factores encontrados son de orden institucional y estructural, perceptual y conductual, político, económico y financiero, intelectual y ambiental. Los resultados indican que las actitudes y preferencias de los actores, la falta de voluntad política, además de las restricciones financieras, son los que más influyen en la efectividad de la planeación ambiental.*

Palabras clave: *Barreras para la planeación, sustentabilidad, relación sociedad-naturaleza, problemas perversos.*

Abstract. *Regardless of the planning approach used, there are different barriers for environmental planning processes to become effective in practice and pay for the transition to sustainability. The purpose of this paper is to investigate and explain the main factors that may influence the effectivity of this field of study in practice; give them a structure, and describe possible synergies in broad terms. In order to do so, a documentary research on this subject was done, based on the review of theoretical and practical literature related to the solution of environmental problems. The factors found are perceptual and behavioral, institutional and structural, economic and financial, environmental, political and intellectual. The results suggest that the attitudes and preferences of*

¹Laboratorio de Planeación Ambiental. Depto. El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: ccm1320@correo.xoc.uam.mx

the actors, lack of political will as well as financial constraints are the three that have the greatest influence on the effectiveness of environmental planning.

Keywords: *Barriers to planning, sustainability, society-nature relationship, wicked problems.*

INTRODUCCIÓN

La planeación ambiental es “un campo de estudio que data de los años setenta y que tiene raíces en la planeación urbana y el ambientalismo. Emergió como un área funcional dentro del campo más amplio de la planeación y como un proceso reflexivo para organizar, diseñar y programar acciones para atender problemas surgidos de la interfaz sociedad-naturaleza” (Briassoulis, 1989: 1).

Debido a su importante papel de asistir a la comunidad en la toma de decisiones sobre los usos de suelo y las actividades sociales y económicas relacionadas, su meta fundamental es aproximarse a un balance entre el uso productivo de los recursos naturales, el mantenimiento de las funciones ecológicas, y la provisión de bienes y servicios ecosistémicos cuando se le asigna un destino a una región o localidad (Chávez y Binnqüist, 2015). Por ello, se dice que, la planeación ambiental defiende el posicionamiento de la sustentabilidad como un prerequisite para la planeación del desarrollo económico.

Desde hace tres décadas, la planificación ambiental entró en una era de turbulencia en la que los objetivos se disputan con frecuencia, las escalas de análisis temporales y espaciales han aumentado y existe una incertidumbre significativa sobre los efectos de las acciones de gestión. Un entorno de planificación ambiental, a menudo polémico, se ejemplifica por la creciente insatisfacción pública en torno a su efectividad y se expresa de muchas formas, incluida la falta de participación pública, la animosidad y la desconfianza hacia el gobierno, las apelaciones y los litigios, y en ocasiones incluso las amenazas y la violencia. Por ello, es que, durante su existencia, la teoría y la práctica de la planeación ambiental han exhibido enfoques alternativos para la formulación e implementación de soluciones a los problemas que surgen de la interfaz sociedad-naturaleza, los cuales reflejan una filosofía y un modo de pensar particulares respecto a la forma en que estos problemas podrían o deberían ser definidos, analizados y resueltos. Tal es el caso de los enfoques racional, estratégico, situacional, participativo, colaborativo y comunicativo (Davoudi, 2012). No obstante, la revisión del trabajo académico sobre el tema sugiere que, independientemente del enfoque de planeación ambiental que se use, los planificadores enfrentan distintas barreras para que los procesos de planeación

ambiental se vuelvan efectivos en la práctica. Limitaciones que a menudo conducen a una parálisis de la acción en la que las instancias, que intentan llevar a buen término los procesos de planificación, se estancan en un intento de completar el trabajo que les exige la legislación estatal y federal (Lachapelle *et al.*, 2003).

La identificación de estos aspectos ha sido posible gracias a que, después de un largo tiempo en donde lo que caracterizaba a las investigaciones de planeación ambiental era la falta de documentación sobre los factores que la limitaban en la práctica (Meadowcroft, 1999), durante los últimos 20 años se han hecho más frecuentes los estudios que reportan estos aspectos como parte de la reflexión sobre el proceso de planeación llevado a cabo. No obstante, poco se ha hecho para recopilarlas y organizarlas bajo categorías que le den unidad al conjunto, lo cual podría deberse, por lo menos en parte, a una visión de la planeación relacionada más con los procesos que con la sustancia (Eraydin, 2015). La identificación y organización de dichas barreras puede proporcionar información valiosa sobre dónde se ubica actualmente una organización con respecto al proceso de atención de los problemas de carácter ambiental. Comprender qué tan factible es el proceso de planeación ambiental en una organización, puede permitir un suministro más efectivo de recursos e información para facilitar un mayor progreso hacia la sustentabilidad (Moser y Ekstrom, 2010).

En este documento se muestran los resultados de una investigación y un análisis empírico sobre los factores que influyen en la práctica de la planeación ambiental. Su propósito es indagar y explicar los factores que pueden limitar o entorpecer la efectividad de este campo de estudio para resolver los problemas que se presentan cuando se le asignan funciones a una región o localidad; darles una estructura y describir posibles sinergias. El valor de un trabajo como éste es que, mediante un procedimiento metodológico formal, se resume la información más relevante del tema, le proporciona organización y facilita su asimilación.

El estudio se clasificó como un diseño no experimental, de carácter cualitativo y exploratorio (Méndez y Guerrero 2006; Sampieri *et al.*, 2018). Está basado en la revisión de literatura teórica y práctica relacionada con la solución de problemas ambientales; en la organización de la información mediante un proceso de indexación manual (Arksey y Knight, 1999; Blaxter *et al.*, 2002), y en la interpretación de la información a través del método analítico-sintético, concretando el estudio de las categorías de barreras por separado, para después proceder a relacionarlas (Osorio, 2012). Para obtener la información requerida se hizo una investigación documental, orientada por los siguientes descriptores presentes en los títulos o resúmenes: barriers, hurdles, hindrances and environmental planning, hindrances and sustainability planning, hindrances and adap-

tation planning, y sus equivalentes en español. La exploración de bibliografía se limitó a artículos de revisión y artículos de investigación publicados en revistas especializadas en el tema de la planeación ambiental, y abarcó el periodo comprendido entre los años 2000 y 2018. Adicional a esto, se revisaron algunas referencias previas derivadas de la consulta de la bibliografía de los artículos encontrados, por su pertinencia y relevancia. En total se seleccionaron 58 documentos como los más importantes por sus aportaciones al tema, en el sentido de hacer explícitas las dificultades o limitaciones que los planificadores ambientales han encontrado para lograr el efecto o fin que se desea o espera del ejercicio de la práctica profesional.

La información se revisó considerando las frases como unidad de análisis y seleccionando aquellas que reflejaran los aspectos mencionados. Cada frase se agrupó con otras similares, asignándole al conjunto la etiqueta con la que su contenido se ajustara mejor. Según Straus y Corbin (2002), la creación de elementos o temas de análisis cualitativo puede basarse en una lista de códigos creados previamente o que pueden crearse sobre la marcha. En este caso las etiquetas correspondieron, en un primer paso, a las categorías de las barreras para la planificación ambiental propuestas por Moore (1994) y complementadas con otras propuestas por la autora. Siguiendo el mismo procedimiento, en un segundo paso, las frases de cada categoría se dividieron en subgrupos, asignándole la etiqueta que reflejara mejor su orientación, identificando así las barreras específicas. Esta información se sistematizó en una tabla compuesta por seis categorías de barreras que agrupan 26 elementos en total. La tabla se complementó con una descripción general de dichos obstáculos y una discusión de su posible interacción.

El desarrollo de este documento empieza con una discusión sobre la naturaleza de los problemas que la planeación ambiental busca atender, la forma en que los planificadores han buscado contener las dificultades que estos problemas les plantean en la práctica, y el recuento de las principales barreras con las que se han enfrentado al hacer esto. Después, se presenta una estructura que organiza dichas barreras de acuerdo a categorías unificadoras, seguida por una descripción de su relación con la planeación ambiental, terminando con una breve discusión sobre la relación que se observa entre algunas de dichas barreras. El texto cierra con las principales conclusiones sobre la investigación.

La naturaleza de los problemas que aborda la planeación ambiental y los retos que le imponen en la práctica

Cuando los problemas tienen una definición clara, es factible que en su atención sólo uno o dos aspectos se planteen, y éstos se asocian con una solución directa, por lo que apenas hay necesidad de planear. Los problemas derivados de la relación sociedad-naturaleza han pasado de lo bien definido a lo “desordenado”, por lo tanto, la planeación ambiental está típicamente asociada con los denominados problemas perversos (Healey, 1998), o también llamados problemas de encrucijada (Meppen y Bourke, 1999). Un aspecto de este tipo de problemas es el de los múltiples actores, cuyos puntos de vista conflictivos deben ser conciliados. Sin embargo, los genuinos problemas de este tipo comprenden muchas más facetas que simplemente su red de actores. Por lo general, son situaciones que se caracterizan por objetivos múltiples y en competencia, poco acuerdo científico sobre relaciones causa-efecto, tiempo y recursos limitados, falta de información y desigualdades estructurales en el acceso a la información y en la distribución del poder político (Lachapelle *et al.*, 2003). A este tipo de situaciones pertenecen todas las que se derivan de la relación sociedad-naturaleza y que están en manos tanto de los científicos, como de los políticos y la sociedad civil, tales como: la deforestación de bosques, la contaminación del agua, la contaminación de costas y mares, la sobreexplotación de mantos acuíferos, la erosión acelerada del suelo, la desertificación, la pérdida de la diversidad biocultural, la destrucción de la capa de ozono y el cambio climático (Moguel y Toledo, 1999). A éstos podríamos agregar, según algunos autores, la sobrepoblación, la pobreza y la transición hacia la sustentabilidad, entre otros (Foladori, 2001). De aquí se deriva que si bien los enfoques sinópticos son métodos adecuados y altamente efectivos para diseñar el futuro en situaciones en las que los problemas están bien definidos, los valores se comparten y los objetivos son inequívocos e indiscutibles, no son adecuados para situaciones complejas. De acuerdo a esto, según las propias palabras de Selman (1999, p: 149), “los planificadores ambientales a menudo se encuentran ‘entre la espada y la pared’, tratando de proporcionar un resultado factible a un rompecabezas imposible y tomar una decisión que puede alienar a algunos y no agradar mucho a nadie”.

La planificación efectiva o exitosa es más que simplemente producir un producto (por ejemplo, el documento de planificación final), sino que implica dimensiones relacionadas con el aprendizaje, la construcción de relaciones, la propiedad y una mejor aceptación social y política (McCool y Guthrie, 2001). Por ello, con el paso de los años, los planificadores ambientales han buscado limitar las dificultades que les plantean los problemas perversos al mejorar la confiabilidad y accesibilidad de la información, tra-

bajar en grupos interdisciplinarios e incluir un mayor número de puntos de vista en los análisis. Sin embargo, al hacerlo se han enfrentado a una serie de barreras que requieren de su comprensión para negociar una conclusión exitosa de un proceso de planificación. Dichos factores se identifican y caracterizan a continuación.

Factores que influyen la práctica de la planeación ambiental

Las barreras para una planeación ambiental efectiva han sido clasificadas como: de acuerdo, conocimiento, tecnología, economía, sociedad y política (Trudgill, 1990; Selman, 1999). Moser y Ekstrom (2010) han identificado factores como las actitudes y preferencias de las partes interesadas, mientras que Mitchel (1990) señala a los poderes y reglamentos estatutarios, estructura y funciones organizativas, y contexto ambiental. Measham *et al.* (2011) indican que los dilemas ambientales giran en torno a la falta de información, conocimiento y recursos; y Lafferty y Meadowcroft (1996) registran como limitantes patrones geográficos complejos de impacto y causalidad, y efectos de escala de tiempo. Yafee *et al.* (1996) y Jantarasami *et al.* (2010) han añadido obstáculos como la oposición pública, la falta de recursos y la incertidumbre científica. Por su parte, Selman (1999) incluye hallazgos tales como confrontación y protestas, falta de urgencia, comprensión, conocimiento, recursos, habilidades y relevancia electoral, además de los problemas relacionados con la agencia o capacidad de hacer. En el contexto nacional, autores como Aguiluz *et al.* (2001) mencionan obstáculos como la falta de interés para comprometerse y asumir responsabilidades, la insuficiente cultura de organización y trabajo en equipo del colectivo que planifica. Mientras que Caire (2007) indica como factores clave una lenta evolución de la cultura ambiental, y él mismo, junto con Moser y Ekstrom (2010), señalan la carencia de liderazgo sectorial para convocar a los actores involucrados en el proceso de planeación.

En el cuadro 1 estas ideas se reorganizaron usando las categorías de clasificación propuestas por Moore (1994), y complementadas, en este trabajo, con las de carácter ambiental, político e intelectual. Una discusión más a detalle de estas categorías se ofrece a continuación. El orden de exposición sigue el orden de izquierda a derecha en el cuadro 1, lo que refleja la importancia de las categorías de factores, y dentro de cada factor, el orden de arriba hacia abajo.

Cuadro 1. Tipología de factores que influyen en la planeación ambiental

| Institucional-Estructural | Perceptual-Conductual | Político | Intelectual | Económico-Financiera | Ambiental |
|--|--|--|--|-------------------------------------|--|
| Funciones y estructuras administrativas | Ambiente construido | Falta de voluntad política | Tradiciones intelectuales de las disciplinas contribuyentes | Falta de recursos | Ambiente físico |
| Pseudo integración de agencias o instancias | Acuerdo (falta de consenso sobre objetivos y valores) | Politización de las decisiones | Falta de habilidades | Opciones costosas o poco atractivas | Patrones geográficos complejos de causalidad de impactos |
| Efectos de escala de tiempo | Actitudes y preferencias de los actores | Falta de urgencia | Insuficiente cultura de organización y trabajo en equipo del colectivo que planifica | | |
| Marco legal | Incertidumbre científica | Oposición pública | | | |
| Atributos de la toma de decisiones | Déficit de conocimiento | Predominio de otros intereses sobre el ambiental | Adecuación técnica de los modos de planeación | | |
| Lenta evolución de la cultura ambiental | Falta de interés para comprometerse y asumir responsabilidades | | | | |
| Carencia de liderazgo sectorial para convocar a los actores involucrados en el proceso de planeación | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Factores institucionales y estructurales

Debido a la posición clave que ocupan las autoridades locales para respaldar la planeación ambiental, y por tanto la sustentabilidad, es importante considerar qué funciones de gestión de recursos han asignado y en qué escala, ya que esto puede marcar la diferencia entre un punto de apalancamiento y una limitación para el alcance de la planeación ambiental. Las funciones de gestión se pueden clasificar en dos categorías: genéricas y sustantivas. Las funciones genéricas en la gestión de recursos incluyen actividades como el monitoreo (la recopilación y el reporte de información), la mediación (el desarrollo de estrategias conjuntas y la resolución de conflictos) y el control (la aplicación de las responsabilidades reglamentarias y la autoridad de implementación). Como funciones sustantivas, se puede mencionar una mejor toma de decisiones, la propia planeación ambiental y mitigación del impacto (Mitchell y Hollick, 1993). Además, diferentes funciones pueden requerir diferentes características institucionales, incluidas las estructuras organizativas apropiadas; por tanto, las estructuras deben estar vinculadas a las funciones sobre la base de la eficiencia, la responsabilidad y la flexibilidad, si se aspira a una planificación ambiental efectiva, donde el contexto es dinámico y dependiente de circunstancias particulares (Mitchel y Hollick, 1993).

Los problemas asociados con las agencias incluyen la falta de coordinación y cooperación entre ellas y la burocracia administrativa. En muchos casos, estos problemas son inevitables debido a la necesidad de involucrar a todas las partes interesadas afectadas y las complejidades resultantes, o a los múltiples planos sobre los cuales hay que tomar decisiones. En otros casos, las dificultades para comunicarse o coordinarse con el personal de otras agencias pueden deberse a la ausencia de relaciones interinstitucionales que dificulta el intercambio de información, el acuerdo en objetivos y el consenso en alternativas de solución. Ya sea por separado o en conjunto, estos factores afectan el alcance y la oportunidad –en tiempo y forma–, de los planes ambientales y la factibilidad de su operación.

Otros problemas están enraizados en los valores y comportamientos históricos de las agencias (McClure y Baker, 2018), por ejemplo, los conflictos jurisdiccionales entre agencias pueden ser la fuente de varios problemas como la falta de coordinación, pues los distintos órganos pueden o no estimarse entre sí competentes para conocer del mismo asunto y, con ello, entrar en competencia por las decisiones. En otras ocasiones, los conflictos entre los programas de una institución conducen a problemas de implementación, como cuando el programa de incentivos de tierras de cultivo de una instancia entra en conflicto con el programa de conservación de otra. También hay pro-

blemas de consenso cuando los sistemas de valores en conflicto en los que la filosofía profesional de una persona (y la organización) se contraponen con los nuevos enfoques de planeación ambiental asociados con la sustentabilidad, causando que los planes que promueven esta visión se aborren. También puede darse que los miembros del personal de la agencia a menudo no están acostumbrados a mayores niveles de participación pública, no están capacitados en la gestión organizacional y no están en posesión de los conocimientos científicos necesarios para comprender y gestionar los problemas ambientales, poniendo en riesgo la implementación del plan. Incluso, hay problemas de profesionalización, ya que en muchas ocasiones la persona que ocupa un puesto no tiene las capacidades requeridas para realizar las labores que implica, produciendo con ello alternativas fallidas de antemano. En otros casos, los miembros del personal de diferentes agencias y organizaciones tienen filosofías de administración muy diferentes, que pueden ser difíciles de fusionar en los objetivos y estrategias de un proyecto, conduciéndolo al fracaso. Además, la falta de desarrollo de políticas y programas federales que apoyen la protección del medio ambiente puede dificultar la implementación de proyectos relacionados con la provisión de la autorización, flexibilidad, financiamiento y asistencia técnica necesaria para apoyarlos (Pincharoen, 2001; Caire, 2004). De aquí que los esfuerzos de planificación muchas veces se queden solamente como planes libro.

En cuanto a los efectos de la escala de tiempo, algunos se relacionan con que los términos del gobierno son demasiado cortos para atender problemas que son más bien de largo plazo, mientras que otros, en cambio, tienen que ver con un desempeño deficiente del gobierno, para el que cualquier ciclo electoral parecería demasiado largo. En el primer caso, el proceso de toma de decisiones se ve afectado, ya que se evita la realización de proyectos de larga maduración, asociados a problemas complejos y se dificulta la adquisición de experiencia por parte del gobierno. En el segundo caso, la corrección y la recuperación se producen lentamente, ya que se tiene que esperar hasta que se instale un nuevo gobierno y comience a diseñar nuevos planes –con suerte, más efectivos– (Matus, 1992).

Abordando el marco legal, la ley proporciona una base para la planeación y la regulación, ya que la presencia de poderes estatutarios, entre otras cosas, puede ayudar a determinar la responsabilidad, el poder o la autoridad de las agencias y aclarar las reglas para las intervenciones y la resolución de problemas de límites de jurisdicción (Caire, 2007); por ejemplo, la falta de regulaciones ambientales locales obligatorias impide que una institución municipal establezca sus propias reglas, y que regule a las organizaciones públicas, privadas y sociales, así como a individuos en asuntos ambientales dentro de su jurisdicción (Bassols, 1999). O bien, las legislaciones pueden existir, pero entran

en conflicto con las de otro sector, lo cual impide aplicarlas, dejando al plan sin soporte legislativo y, por lo tanto, sin factibilidad de operación.

Por otro lado, al abordar los modos de toma de decisiones, es preocupante la forma en que muchas veces los tomadores de decisiones llegan a éstas dentro del proceso de planeación. Esto es así porque el modo impulsa el “quién, qué, cuándo, dónde y cómo” del proceso de toma de decisiones. Estos modos también se ven afectados por (y, a su vez, pueden afectar a) las estructuras de las instituciones que participan en la decisión, así como las actividades institucionales contextuales, como la evaluación retrospectiva o la planeación prospectiva (Tonn *et al.*, 2000). En su artículo, Ton *et al.* (2000) sugieren seis modos de toma de decisiones que influyen el proceso de planeación: acción de emergencia, procedimientos de rutina, centrado en el análisis, cuerpos de élite, manejo de conflictos y aprendizaje colaborativo.

Cada modo tiene características distintivas que tipifican diferentes enfoques para la toma de decisiones que, a su vez, pueden hacer que un modo sea apropiado o no para el tema en cuestión. Como es probable que las acciones de decisión se implementen de diferentes maneras, según el modo, Dale y English (1999) sugieren que se pueden tomar decisiones más informadas sobre estas acciones al ser conscientes del modo en que se toman las decisiones. Según Tonn y colaboradores (2000), estos modos son “tipos ideales” en cuanto a que, en la realidad, ninguno es probable que exista en forma pura; en cambio, es probable que un proceso de toma de decisiones ambientales incorpore aspectos de más, de un modo simultáneamente o en el tiempo.

Por otra parte, en relación al liderazgo sectorial para convocar a otros actores involucrados en el proceso de planeación ambiental, es importante remarcar que los canales de comunicación formal e informal se ven afectados ante la confusión e indefinición de cambios en las atribuciones y recursos del propio sector, sobre todo en países con menor desarrollo. Como dice Caire (2004: 69) “estas situaciones crean ambientes cada vez más tensos entre agencias que, por su naturaleza, debieran mantener relaciones de cooperación entre sí, además de fomentar actitudes defensivas entre sus miembros”. En otras palabras, la competencia por recursos y los celos entre instituciones obstaculizan, si no es que cierran, las posibilidades de comunicación y complican la toma de decisiones dentro del proceso de planeación.

Finalmente, la oportunidad y efectividad con las que se desarrolle la planeación y gestión ambiental está muy influida por el ritmo con el que avance la cultura ambiental. Esto debido a que es ésta la que ayuda a fomentar la cooperación entre la población para manifestar una verdadera presión social y política que conduzca a los gobiernos al cumplimiento de sus funciones (Caire, 2007), y con ello a la concreción de los planes ambientales.

Factores perceptuales y conductuales

Si bien el entorno natural es contextualmente importante para la planeación del entorno, el ambiente construido también puede serlo, y mucho, pues la toma de decisiones ambientales está arraigada no sólo en el mundo físico, sino también en el mundo social (Tonn *et al.*, 2000), lo cual le añade una buena dosis de incertidumbre al proceso de planificación.

Desde el punto de vista de la planeación ambiental, el contexto social define qué problema se reconoce como social y políticamente relevante y, por último, lo que la sociedad entiende y acepta como una solución socialmente adecuada (Aguilera-Klint *et al.*, 2000); por ejemplo, se ha argumentado que las personas, a través de conceptos, palabras, valores y creencias socialmente adquiridos, construyen lo que constituye un problema ambiental (Tonn *et al.*, 2000). En otras palabras, es a través de la construcción social que colectivamente nos damos cuenta y etiquetamos varios problemas –por ejemplo, la eliminación de desechos sólidos, la contaminación del aire, el calentamiento global– que pueden haber existido durante años, pero que hasta ahora no habían sido reconocidos ni nombrados. Asimismo, a través de la construcción social podemos crear un problema que no existe en la realidad. Los estudios realizados por Aguilera-Klint *et al.* (2000) sobre la construcción social de la escasez de agua en Tenerife (Islas Canarias) y McDaniels *et al.* (1998) sobre la calidad del agua en la Cuenca del Bajo Fraser son un testimonio de esto.

Además del acuerdo ideológico sobre la naturaleza de los problemas ambientales, los objetivos y los valores también influyen en la toma de decisiones cuando se planifica, ya que ambos determinan las preferencias que tenemos para ciertos estados o cosas (Keeney, 1988). De aquí que la adecuada definición de los objetivos sea vista como una barrera para la eficacia de la planeación ambiental (Lachapelle *et al.*, 2003), ya que a través de los objetivos se define lo que queremos y la dirección de preferencia de lo que queremos. Los objetivos subyacentes son valores que proporcionan la base para establecer el tiempo y el esfuerzo que dedicamos a pensar en las decisiones –y la intención detrás– (Keeney, 1994). En consecuencia, los tomadores de decisiones deben lidiar con frecuencia con conflictos relacionados no sólo con el proceso (la planeación), sino también con el resultado (el plan) (Keeney, 1992). Como ejemplo de esto último, los conflictos a menudo surgen sobre hasta dónde los resultados de las decisiones ambientales deberían favorecer la naturaleza (por ejemplo, la protección de especies) o las preocupaciones humanas actuales (por ejemplo, la protección del crecimiento económico).

Por otro lado, la oposición al concepto de sustentabilidad, a un esfuerzo en un sitio en particular, o al gobierno en general son reportados frecuentemente como obstáculos para el progreso de un proyecto (Yafee *et al.*, 1996). La resistencia del público es común como resultado de percepciones erróneas sobre lo que implica la sustentabilidad o simplemente el escepticismo ante cambios significativos en el manejo de recursos. La experiencia desfavorable con regulaciones o programas gubernamentales puede ayudar a alimentar actitudes negativas hacia la planeación ambiental por parte del público (Yafee *et al.*, 1996). Además, a la luz de la mejora del apoyo de las culturas institucionales, la evidencia de las primeras etapas de los procesos de la Agenda Local 21 confirma que, aun con la existencia de algunas innovaciones alentadoras, incluso las autoridades locales relativamente positivas pueden encontrar difícil renunciar al control, ya sea por una aversión innata o porque están inevitablemente comprometidos con proyectos que dañan el medio ambiente (Selman, 1999), por lo que la planificación ambiental puede ser rechazada de entrada.

Algunos de los problemas relacionados con la incertidumbre científica son el resultado de dificultades conceptuales con la noción de sustentabilidad, que actúa como prerrequisito de la planeación ambiental, por ejemplo, la falta de una definición acordada puede dar lugar a dificultades para comunicar el concepto o un proyecto en particular al público. Una definición poco clara también puede generar confusión entre las partes y puede hacer que la solicitud de financiamiento sea difícil de justificar. La información insuficiente (Jantarasami *et al.*, 2010), inadecuada y conflictiva sobre el área de un proyecto en particular, también ha sido reportada como un problema, así como la ausencia de una línea base de datos que permitan desarrollar un diagnóstico o hasta un pronóstico cuando se planifica (Yafee *et al.*, 1996). Además, esto puede provocar que las agencias reticentes utilicen la existencia de la incertidumbre como una excusa para no actuar, negando con ello la pertinencia y urgencia de la planificación ambiental.

Además, en algunos países en desarrollo, la protección del ambiente no sólo se ha introducido a regañadientes, sino que también se ha percibido como límites indeseables para el desarrollo, aun cuando los efectos adversos de algunos proyectos son previstos y previsibles. La actitud tradicional de los tomadores de decisiones locales parece ser un factor clave en esta reticencia, muchas veces debido a la falta de conocimiento (Pincharoen, 2001). Los tomadores de decisiones, en su mayoría políticos, pueden ignorar o no estar conscientes de los efectos ambientales de la actividad de desarrollo y defender un proyecto de desarrollo propuesto con la idea de mejorar sus posibilidades de reelección. Asimismo, preocupados por sus oportunidades políticas futuras, los tomadores de decisiones pueden favorecer una decisión que cumpla las promesas de campaña, no la

protección del medio ambiente, desconociendo los argumentos que podrían hacer cambiar su opinión. Esto puede llevarlos a ignorar los efectos a largo plazo del desarrollo, también a subestimar el agotamiento de los recursos naturales actuales y atribuir una atención secundaria a los problemas ambientales, enfocando la planificación solamente a otros objetivos como los económicos o sociales.

Con respecto a la falta de interés para comprometerse y asumir responsabilidades, Aguiluz *et al.* (2001) reportan que si bien las partes interesadas pueden identificar que la responsabilidad de mantener la calidad ambiental es de todos, ésta se deriva hacia los otros y no hacia uno mismo como parte de todos. Esto es importante para la eficacia de un proceso de planeación, ya que es necesario combatir la tendencia a considerar que el desarrollo es algo externo que está en manos del gobierno resolverlo y no que es producto de una construcción colectiva que demanda un grado de compromiso, tanto individual como colectivo.

Factores políticos

La primera barrera a la que se hace alusión en este contexto, es la voluntad política. A pesar de su ambigüedad, la voluntad política es un término comúnmente utilizado, tanto en literatura académica como en la retórica política (Lieberman, 2012). Post *et al.* (2010) proporcionan una definición operativa de voluntad política que tiene cuatro condiciones: un conjunto suficiente de actores políticos, un entendimiento común del tema, una intención genuina de actuar sobre el tema y una solución de percepción común. Es de suponer entonces que una respuesta de “falta de voluntad política”, significa que al menos una de las cuatro condiciones establecidas por estos autores está ausente.

En este contexto, la voluntad política de asumir un acuerdo sobre planes y programas para guiar la acción pública y social requiere estructuras, mecanismos y procedimientos que garanticen su cumplimiento. Sin mecanismos de evaluación permanentes y sistemáticos, la subjetividad que rodea las políticas y acciones de desarrollo que impactan al ambiente, da lugar a un cierto nivel de desviación en su implementación y, en general, en la evaluación de sus resultados. En consecuencia, los planes y programas se convierten en documentos indicativos, que pueden implementarse o no según las circunstancias. Además, la evaluación de su éxito se reduce a una corrección programática entre objetivos y recursos, concentrándose en la eficiencia solamente e ignorando la eficacia (Iracheta, 1999).

En esta sección, también vale la pena mencionar la politización de las decisiones en la planeación ambiental. Es decir, en principio, en la planeación se consideraría el asesoramiento profesional, pero luego la decisión estaría sujeta a la influencia política. Podría suceder que, antes de las reuniones de comité, las diferentes partes interesadas podrían reunirse en grupo para tomar su decisión, en casos extremos independientemente del propio consejo de planeación (Walker *et al.*, 2015). El significado aquí es que su evaluación del caso se vería fuertemente influida por las consideraciones políticas en contraposición a las profesionales. Si bien, éstas podrían legítimamente reclamarse como “de interés público” (dado que los responsables de la toma de decisiones políticas serían los representantes del electorado victorioso), la decisión podría no serlo, como se vería en una evaluación en donde se tomara en cuenta a la comunidad afectada en general, la cual podría extenderse más allá de la administración local particular (Lichfield, 1998).

Por otro lado, la falta de urgencia en el desarrollo de políticas ambientales, y por tanto de la planificación en este contexto, parece ser causada (al menos en algunos países en desarrollo) por dos factores principales. El primero es que las prioridades del gobierno, así como las demandas de los ciudadanos –expresadas durante las campañas electorales– están básicamente orientadas a la promoción del empleo, la seguridad pública, la salud y la lucha contra la pobreza, lo que lleva a los tomadores de decisiones a favorecer los proyectos que incrementen sus posibilidades de reelección (Walker *et al.*, 2015). El segundo factor está relacionado con las orientaciones que rigen la política económica del gasto público y la inversión en un país. Así, tenemos por ejemplo, el caso de un gobierno estatal que crea un Ministerio de Ecología y Administración Ambiental, pero que no le asigna suficientes recursos, en comparación con otras instituciones públicas (Bassols, 1999; Pincharoen, 2001).

La oposición pública también se destaca como un obstáculo para los proyectos de planeación ambiental; por ejemplo, la oposición de los terratenientes puede manifestarse como una desconfianza generalizada hacia el gobierno, y cinismo acerca de las motivaciones de las instituciones para emprender el manejo de recursos. Los propietarios a menudo temen que la participación del gobierno en un proyecto lleve a regulaciones gubernamentales adicionales o a una infracción de los derechos percibidos de propiedad privada. De hecho, las decisiones pueden afectar la propiedad privada y la oposición surge de la preocupación por cómo estas disposiciones afectan el valor de la propiedad, aumentan los costos de seguro o restringen el desarrollo potencial (McClure y Baker, 2018). Estas preocupaciones pueden motivar la oposición pública a las políticas de adaptación al cambio climático, por ejemplo. Si bien la participación de los propietarios en la mayoría de los proyectos es estrictamente voluntaria, puede ser difícil convencer

al público de que las instancias estatales o federales no están involucradas con fines regulatorios, obstaculizando con ello la concreción de planes y programas (Yafee *et al.*, 1996; Gezelius y Refsgaard, 2007)

Por último, otro obstáculo al que se enfrenta la planeación ambiental es que en la toma de decisiones predominan los intereses económicos y políticos, es decir, los conflictos en la región y la situación económica que prevalece debido al modelo económico predominante, dejando con ello los temas ambientales en el último punto de la agenda o de los intereses individuales (Aguiluz *et al.*, 2001; Lachapelle *et al.*, 2003), conduciendo a una parálisis de la acción en este tenor.

Factores económicos y financieros

La falta de recursos financieros es frecuentemente señalada como una barrera importante para la planeación ambiental. Ésta se puede atribuir más ampliamente a las características generales del entorno socioeconómico, así como a los patrones de desarrollo económico y crecimiento, que son decisivos para la disponibilidad de fondos públicos. Además, las características del entorno socioeconómico tienen un fuerte impacto en la importancia relativa de las necesidades ambientales, en comparación con otros objetivos sociales y políticos, lo que a su vez determina la asignación de un presupuesto público escaso a diferentes campos de acción (Lehmann *et al.*, 2015). Según Yafee *et al.*, (1996), la escasez o ausencia de recursos para el financiamiento es un problema clave para los esfuerzos de planeación y protección ambiental, tanto públicos como privados, ya que es una barrera para muchas actividades a nivel de sitio, que van desde la contratación de personal, la adquisición de tierras, recolección de datos, hasta a la inversión en tecnología.

La escasez de recursos públicos puede llevar a condiciones donde los objetivos de planificación compiten por recursos limitados, donde el conflicto y la competencia entre objetivos institucionales pueden limitar los esfuerzos de planeación ambiental (Measham *et al.*, 2011). En otros casos, los escasos recursos de los gobiernos, sobre todo locales, y sus responsabilidades en competencia restringen la atención a los problemas ambientales, marginándolos por otras prioridades. Como resultado, los proyectos de carácter ambiental son particularmente susceptibles de ser abandonados en el contexto de preocupaciones económicas, tal es el caso de los relacionados con el cambio climático. Otras dos dimensiones de esta barrera económica son la dificultad de atribuir costos y beneficios claros a los temas ambientales, y los recursos financieros y técnicos desiguales entre niveles de gobierno (McClure y Baker, 2018).

Asimismo, dado que la sustentabilidad requiere que los esfuerzos se mantengan durante muchos años, existe una tendencia en los tomadores de decisiones a favorecer soluciones a corto plazo, basados en el temor de que la falta de financiamiento a largo plazo obstaculice su capacidad para lograr resultados. Como consecuencia, la mayoría de los enfoques de planeación ambiental se han implementado de manera reactiva y correctiva en lugar de preventiva (Pincharoen, 2001; Lehmann *et al.*, 2015).

Hay varias razones que dificultan la obtención de fondos. Los proyectos de atención a cuestiones ambientales pueden enfrentar problemas con la planeación a largo plazo porque los procesos de financiamiento operan en ciclos de corto plazo, muchas veces anuales. Además, los problemas ambientales no encajan en las estructuras de apropiación de la mayoría de los gobiernos. Las legislaturas, en todos los niveles, asignan tradicionalmente fondos basados en los límites de los programas, o completamente dentro de una instancia específica, mientras que la protección ambiental se extiende a través de todos estos aspectos y de límites administrativos (Pincharoen, 2001; Lehmann *et al.*, 2015).

Desde otro punto de vista, se sabe que tanto en la planeación como en la gestión ambiental la toma de decisiones está generalmente influida por los costos de las decisiones (Briassoulis, 1989). Esto debido al escaso financiamiento que, en general, recibe el sector ambiental, y porque muchas veces el marco legal existente para el financiamiento de niveles políticos inferiores al nacional, genera limitados recursos financieros propios para la atención de problemas locales, por lo que al evaluar la prioridad de las distintas demandas, en función de su importancia política y social, el medio ambiente no siempre se coloca como materia social prioritaria (Caire, 2004; McClure y Baker, 2018). Por ejemplo, la mayoría de las decisiones ambientales hacen hincapié en el control ambiental en lugar de la prevención debido a los altos costos y los largos horizontes de tiempo involucrados, limitando con esto el alcance de las decisiones en la planeación. Además, la situación económica de un país puede crear conflictos entre los beneficios económicos a corto plazo y las necesidades básicas, así como en el énfasis en la protección del medio ambiente y la transferibilidad de tecnologías extranjeras (Pincharoen, 2001), lo cual influye negativamente en la prelación de los objetivos ambientales en un contexto de planeación.

Factores intelectuales

Estas barreras están relacionadas con las disciplinas y la experiencia intelectual del personal que contribuye a la planeación ambiental. Como punto de partida, es conveniente afirmar que muchos de los problemas críticos del mundo que involucran la interacción entre el hombre y la naturaleza son de naturaleza transversal y no disciplinaria (Meadowcroft, 1999; Hammer y Söderqvist, 2001). Eso significa que los problemas ambientales y, por tanto, de sustentabilidad, deben considerarse desde diversas perspectivas disciplinarias, como la ecología, la economía, la sociología, las ciencias políticas y la ingeniería. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cada disciplina creará su propia visión y soluciones de un problema ambiental, basándose en diferentes visiones del mundo y supuestos básicos que, a su vez, influirán en las características de los procesos de planeación y toma de decisiones. De ahí la importancia de los antecedentes disciplinarios del personal que contribuye a la planeación, en relación con la percepción, el encuadre y el alcance de las soluciones de problemas. Hitchcock y Willard (2008) proponen que “las soluciones de sustentabilidad [prerrequisito de la planeación ambiental] con frecuencia requieren un enfoque interdisciplinario y de múltiples actores, involucrando gente de distintos niveles dentro de las organizaciones e inclusive de distintas organizaciones”.

De manera paralela, existe la opinión de que la falta de capacidad intelectual en disciplinas ambientales es una limitación para una planeación ambiental efectiva. El consenso sobre esta noción incluye tanto los países desarrollados (Yafee *et al.*, 1996), como los países en desarrollo (Downs, 2001), sin embargo, el problema se ha destacado particularmente en los segundos, en términos de calidad y cantidad tanto de personal de planeación, como de sus habilidades (Pincharoen, 2001).

Como personal de planeación apropiado se refiere al tipo, número y características de las personas que participan tanto en la producción como en la evaluación de un plan. Las habilidades de planeación se refieren al conocimiento y la capacidad del personal en las disciplinas necesarias (Pincharoen 2001); por ejemplo, entender la complejidad de los sistemas ecológicos y sociales requiere un nivel ampliado de conocimiento de ambos sistemas. Los miembros del personal de la instancia de planeación necesitan recibir educación continua a medida que se desarrollan las ciencias ambientales y el manejo de recursos. Al planificar ambientalmente y, por tanto, para la sustentabilidad, se necesitan especialistas, pero se les debe educar sobre el contexto más amplio de su experiencia: cómo sus conocimientos se basan y se relacionan con los de otros. También se necesitan intermediarios que puedan proporcionar la interfaz crítica entre la multitud de disciplinas y los grupos que necesitan participar en el proceso de planeación. La divulgación

educativa también es necesaria para informar y motivar a los grupos dentro del público en general (Yafee *et al.*, 1996; Davoudi, 2000).

Por otro lado, si bien se advierte en la literatura (Aguiluz *et al.*, 2001) que todos los sectores reconocen que se requieren comunicación y organización en diferentes escalas con el objetivo de construir nuevas relaciones que, en conjunto, permitan establecer una imagen futura de su espacio colectivo. La falta de herramientas metodológicas y la escasez de reflexión teórica, metodológica y operativa sobre los procesos participativos, no permiten desarrollar mecanismos por medio de los cuales se logre una comunicación horizontal de las autoridades e instituciones gubernamentales con las organizaciones académicas, civiles y privadas, y con la ciudadanía. Cosa que redundaría en una insuficiente cultura de organización y trabajo en equipo del colectivo que planifica.

Aunado a lo anterior, está el desafío de la idoneidad de los modelos tradicionales de planificación y predicción, en el contexto de la incertidumbre y complejidad introducidas por los problemas derivados de la relación sociedad-naturaleza. Los enfoques de planificación estándar pronostican necesidades futuras basadas en datos históricos y modelos de tendencias; sin embargo, problemas ambientales como el cambio climático o la sustentabilidad ecológica introducen variables complejas y múltiples incertidumbres que socavan la capacidad para pronosticar condiciones futuras (Bedsworth y Hanak, 2010; Quay, 2010). La velocidad a la que las intervenciones de planificación pueden influir en los patrones espaciales reales es otro factor que potencialmente limita la solución de los problemas ambientales. La planificación generalmente produce cambios incrementales en los patrones espaciales, generales a lo largo de las trayectorias de desarrollo actuales. Sin embargo, esto puede resultar insuficiente, ya que problemas como el cambio climático o la transición hacia la sustentabilidad, probablemente requerirán ajustes o transformaciones más dramáticos (Kates, Travis y Wilbanks, 2012).

Factores ambientales

La planeación ambiental se lleva a cabo dentro del contexto de las realidades culturales y ambientales que corresponden al lugar donde se ejecuta el proceso de planeación (Tonn *et al.*, 2000). El contexto ambiental incluye el estado pasado, presente y esperado de varios aspectos del ambiente –p. ej. agua potable, calidad del aire, calidad del suelo, especies en peligro de extinción, eliminación de desechos, protección de la vida silvestre–, así como las fuerzas motrices que han provocado o están causando cambios en las condiciones ambientales (Crabtree y Bayfield, 1998; Kammerbauer *et al.*, 2001). Como ejemplos de es-

tos últimos se pueden mencionar el crecimiento de la población, actividades agrícolas y ganaderas, incendios, deforestación, falta de infraestructura, actividades recreativas, falta de conciencia o ignorancia, entre otros.

Por otro lado, existen factores que limitan la disponibilidad o precisión de información científica sobre las condiciones ambientales para poder sustentar el proceso de planeación. Uno de ellos, es la falta general de conocimiento en el modelado y la reducción de escala de dichos modelos globales a escalas regionales, y sobre todo locales; tal es el caso del modelado del cambio climático. A su vez, esta falta de conocimiento puede atribuirse, ante todo, a la complejidad del entorno natural, así como a la impredecibilidad que gobierna a ciertos fenómenos naturales como El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) o los sismos (Lehman *et al.*, 2015). Esta impredecibilidad se considera un desafío adicional para la evaluación de los impactos de los fenómenos naturales sobre el ambiente en su sentido más general, lo cual redundaría en la efectividad y oportunidad de las alternativas que se diseñen durante el proceso de planeación para abordar los problemas derivados de la relación sociedad-naturaleza.

De barreras independientes a posibles interacciones

La literatura sobre las barreras para la planeación ambiental describe una serie de posibles desafíos que los planificadores pueden enfrentar cuando participan en la planificación de alternativas para contender con los problemas ambientales. Las descripciones hechas en el contexto de este estudio, proporcionan información sobre la importancia relativa y la interconexión de estas barreras, por tanto, es un paso hacia la comprensión de cómo y por qué surgen.

Se encontró, por ejemplo, que las actitudes individuales y preferencias de los actores, entre ellos los tomadores de decisiones, se erigen como determinantes importantes de la efectividad de la planificación ambiental. Dicha barrera se asocia con la falta de voluntad política, la cual es vista como otro de los mayores desafíos generales y una barrera mayor para la planeación ambiental (Archie, 2013). Esto coincide con lo reportado por Lehmann *et al.* (2015), en cuyo estudio, desarrollado en América Latina y Alemania, encontraron que los representantes de diferentes niveles administrativos atribuyen la falta de iniciativa, por parte de los responsables políticos importantes, para atender los problemas ambientales, entre otras cosas, a una falta de voluntad para asumir la responsabilidad y hacer los compromisos políticos necesarios.

Las restricciones presupuestarias son consideradas otro de los principales obstáculos para la planeación ambiental y para la implementación de soluciones (Jantarasami *et al.*, 2010; Measham *et al.*, 2011; Archie, 2013; Walker *et al.*, 2015). De igual manera, las restricciones financieras están fuertemente ligadas a las actitudes y preferencias de los actores, así como la lenta evolución de la cultura ambiental. Lo anterior se manifiesta cuando el presupuesto asignado en materia de acción ambiental es superado significativamente por otros, como podrían ser los fondos para infraestructura urbana, educación, salud y seguridad pública, lo cual desmotiva la participación de los actores en proyectos específicos en beneficio del medio ambiente. El equilibrio de los diversos objetivos es una función legítima de la planeación ambiental, sin embargo, este proceso ha resultado históricamente en la priorización de los intereses económicos y la subordinación de los objetivos sociales y ambientales (Lehmann *et al.*, 2015). Algunos autores como Owens y Cowell (2010), atribuyen estas situaciones a interpretaciones en la competencia de la sustentabilidad –ligadas a déficits de conocimiento– y concepciones divergentes del bien público. No obstante, también podrían ser resultado de las tradiciones intelectuales de las disciplinas que participan en proceso de planificación, el cual tradicionalmente ha estado en manos de economistas y no de equipos interdisciplinarios. Esto, a su vez, va de la mano con la adecuación de los enfoques de planificación utilizados, los cuales pueden favorecer o no la democratización de las decisiones y, por tanto, la inclusión de objetivos distintos al económico.

En la investigación también salió a la luz un efecto de la sinergia entre la escasez de recursos y la calidad de los recursos humanos que llevan a cabo el proceso de planificación, tanto en cantidad como en la formación requerida. Lo que pone en riesgo los alcances y la efectividad de los planes, tal y como lo reportan Davoudi (2000) y Pincharoen (2001).

Asimismo, el estudio permitió inferir la relevancia de la influencia de la politización de las decisiones sobre la disponibilidad de recursos para atender la materia ambiental, la cual se cristaliza en la conformación de las agendas de desarrollo económico. En este sentido, dichas agendas pueden socavar el potencial de implementación de la planeación ambiental, ya que los intereses económicos impulsan la agenda de desarrollo dominante y amenazan con condicionar los enfoques para la atención de los problemas ambientales, coincidiendo esto con lo reportado por McClure y Baker (2018), para el caso de la planificación para la adaptación al cambio climático.

Por otro lado, en la revisión de literatura se observó que los planificadores no destacaron los desafíos técnicos asociados con los horizontes de planificación y las deficiencias de información, pero sí señalaron algunos de carácter político, tales como la volatilidad

de las políticas ambientales y las prioridades en competencia como barreras a enfatizar. Se pudo observar que estas barreras políticas pueden dar lugar a otras barreras, como la falta de urgencia al socavar la confianza de los gobiernos locales para comprometer recursos y tomar decisiones para solucionar los problemas ambientales, sobre todo a gran escala. McClure y Baker (2018) reportan este tipo de sinergia en el caso de la adaptación al cambio climático, que es uno de los temas que aborda la planificación ambiental.

Si bien la falta de información no apareció explícitamente como una barrera fundamental para la planeación ambiental, es opinión de la autora que debe reconocerse como tal, ya que como arguye Villada-Canela (2013: 24), “la información actúa como un insumo imprescindible para la toma de decisiones y sirve como base para las argumentaciones que permitirán la participación e incidencia activa y efectiva de los actores en la planeación ambiental”. Sin embargo, hay que señalar que si bien la disponibilidad de información es clave, ésta debe de cumplir los criterios de suficiencia, pertinencia y relevancia para ser significativa.

La falta de información puede estar vinculada a otras barreras, tales como la falta de una organización coordinadora que brinde información actualizada de manera regular y la pseudo integración de agencias, la cual provoca un bajo nivel de cooperación interorganizacional. Esto se refleja en que, aun cuando varios actores tienen acceso a información relevante, en el mejor de los casos sólo colaboran en temas específicos, coincidiendo esto con lo registrado por Lehmann *et al.* (2015). En opinión de la autora, lo anterior se puede vincular también con la falta de voluntad política de los niveles de gobierno a invertir en la generación y distribución de información para mejorar las bases de datos existentes. Además, debido a la complejidad de los canales administrativos, la información que logra filtrarse puede consumir mucho tiempo y no siempre está garantizada, retrasando el proceso de planificación, o bien, limitando sus alcances y robustez.

Un problema adicional con la disponibilidad de información está relacionado a otra barrera: los efectos de escala, en este caso, de tiempo, que vulnera la memoria institucional. El hecho de que una parte significativa de los empleados en la administración pública se reemplace en el curso de los cambios de gobierno, hace que la planificación a largo plazo difícilmente puede garantizarse, ya que la capacidad debe reconstruirse continuamente. Por ello, la información a menudo tiene que ser proporcionada por proyectos externos u ONG’s. En la visión de la autora, es importante enfatizar que las barreras que influyen en la disponibilidad de información están fuertemente ligadas a otra: la disponibilidad de recursos, ya que el nivel de desarrollo de los países determina también las capacidades científicas para producir la información necesaria en tiempo y forma para soportar la planeación ambiental.

En general, la literatura sugiere que si bien algunas de las barreras pueden abordarse operativamente (p.ej. marco legal, falta de conocimiento o falta de habilidades), otras son más fundamentales y exhiben más fácilmente su vinculación con otro tipo de obstáculos. Esto se observa, por ejemplo, en los procesos de planificación establecidos, los cuales pueden ser técnicamente inadecuados para el desafío que imponen los problemas ambientales. Una dificultad en este aspecto es el desajuste entre los horizontes de planificación y los escenarios de cambio de los problemas que se aborden, lo que coincide con los estudios de Bedsworth y Hanak (2010) sobre la planeación ante el cambio climático. En este sentido, los ciclos políticos actuales, los marcos temporales de planificación y los objetivos sociales y económicos promueven horizontes de planificación a corto y mediano plazos, pero problemas como el cambio climático requieren que se consideren las condiciones a largo plazo. Como resultado, se priorizan objetivos más inmediatos sobre objetivos de más largo aliento, como la adaptación al cambio climático, la cual, en este contexto, se puede limitar en la práctica a sólo abordar las amenazas actuales, tal y como lo indica Wilson (2006).

Como ya se indicó arriba, las barreras experimentadas por los planificadores tienen un impacto sinérgico, apoyándose mutuamente, para impedir o limitar cualquier oportunidad de cambio. Si bien los esfuerzos de planificación aislados pueden superar con éxito las barreras, al enfocarse principalmente en el establecimiento de recomendaciones adecuadas a través de abordar las barreras inmediatas, a largo plazo, sólo los cambios en el diseño institucional de la planificación ambiental permitirán abordar estos problemas recurrentes.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio corroboran que la abstracción de los problemas ambientales de su complejidad del mundo real, es un movimiento que la planeación ambiental debe evitar para abonar al tránsito hacia la sustentabilidad. Al argumentar este tema, destacan el imperativo de prevenir la simplificación excesiva de la realidad, al definir las dimensiones científicas y económicas como los únicos temas clave para la planificación ambiental. Pues esto deja de lado los límites sociales, culturales, políticos e institucionales de una situación problemática que, junto con los científicos y económicos, se problematizan entre sí en el mundo real, evitando que los problemas se interpreten en su sentido más amplio posible, se contextualicen adecuadamente y se resuelvan de manera efectiva.

A causa de lo anterior, claramente los planificadores ambientales se enfrentan a una variedad de barreras desconcertantes en situaciones complicadas durante su práctica profesional. Éstas pueden organizarse en seis categorías que surgieron como dominantes en la revisión de literatura de planeación ambiental, a saber: institucional/estructural, perceptual/conductual, político, económico/financiero, intelectual y ambiental. Dentro de las barreras encontradas, destacan la influencia de las actitudes y preferencias de los actores, la falta de voluntad política y las restricciones financieras sobre el progreso y efectividad de la planeación ambiental.

Si bien es poco probable que los planificadores encuentren todas las barreras que aquí se identificaron en una sola situación de planificación, la investigación muestra que existe un apoyo mutuo entre ellas para obstaculizar o limitar las oportunidades de cambio que pueden ofrecer las alternativas surgidas del proceso de planificación, pero también que, incluso una sola barrera, puede ser suficiente para abrumar a los involucrados en los procesos de planificación.

Podría resaltarse aquí que la información derivada de este trabajo constituye un punto de partida útil para derivar recomendaciones de políticas para superar las barreras a la planificación ambiental, lo que sería el paso posterior a la identificación y análisis de barreras. La invención de políticas tiene como objetivo, por definición, modificar el entorno institucional para la acción ambiental. En contraste, las barreras asociadas con las características específicas de los actores (preferencias, percepciones, etc.), y con el entorno natural y socioeconómico (patrones de los fenómenos naturales, desarrollo económico) se pueden, en el mejor de los casos, abordar de manera indirecta –y generalmente sólo a largo plazo– a través de cambios en el entorno institucional. Por supuesto, hay que ser conscientes de que cambiar el contexto institucional a menudo está lejos de ser una tarea fácil, pero generalmente es más tangible que apuntar a las otras fuentes de barreras para la planificación ambiental.

Ciertamente, hay varias preguntas de investigación abiertas con respecto a las barreras para la planeación ambiental. Primero, se debe aprender más sobre los orígenes de las barreras, entre otras cosas, empleando los enfoques disciplinarios existentes para comprender el comportamiento humano; segundo, se necesita más información sobre la relevancia de las diferentes categorías de barreras y sus fuentes. En ambos aspectos, sería útil apartarse de la evidencia anecdótica que se proporciona en la mayoría de los estudios sobre el tema y avanzar, cuando sea posible, hacia enfoques más cuantitativos. En este sentido, se coincide con Biesbroek *et al.* (2013), quienes señalan que sería útil cambiar las prioridades del análisis de barreras al análisis de soluciones, por lo que el primero es ciertamente una condición previa para el segundo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, F., Pérez, E. y Sánchez, J., 2000, "The social construction of scarcity. The case of water in Tenerife (Canary Islands)", en *Ecological Economics*, 34: 233-245.
- Aguiluz, G., Vásquez, M. y Molina, D., 2001, "Planeación ambiental participativa: de la teoría a la práctica en San Cristóbal de las Casas, Chiapas", en *Estudios Demográficos y urbanos*, 16(2-47): 321-349.
- Archie, M., 2013, "Mountain communities and climate change adaptation: barriers to planning and hurdles to implementation in the Southern Rocky Mountain Region of North America", en *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 19(5): 569-587. DOI 10.1007/s11027-013-9449-z
- Arksey, H. y Knight, P., 1999, *Interviewing for social scientists*, SAGE, Londres.
- Bassols, M., 1999, "Sustentabilidad y ciudad: ¿Pueden los gobiernos locales incidir en la ordenación territorial de su entorno?", en *Memorias del Congreso Gobiernos Locales: El futuro político de México*, ITESO, Guadalajara, Jalisco, México.
- Bedsworth, W. y Hanak, E., 2010, "Adaptation to climate change", en *Journal of the American Planning Association*, 76(4): 477-495.
- Biesbroek, R. et al., 2013, "On the nature of barriers to climate change adaptation", en *Reg Environ Chang*, 20: 75-97. DOI:10.1007/s10113-10013-10421-y
- Blaxter, L., Hughes, C. y Tight, M., 2002, *How to research*, Open University Press, Londres.
- Briassoulis, H., 1989, "Theoretical orientations of environmental planning: An inquiry into alternative approaches", en *Environmental Management*, 13(4): 381-392.
- Caire, L., 2004, "Implicaciones del marco institucional y de la organización gubernamental para la gestión ambiental por cuencas. El caso de la cuenca Lerma-Chapala", en *Gaceta Ecológica*, 71(marzo-junio): 55-78.
- Caire, L., 2007, "Retos para la gestión ambiental de la cuenca Lerma Chapala: obstáculos institucionales para la introducción del manejo integral de cuencas", En: Cotler, H. (comp), *El manejo integral de cuencas en México*, 195-212, Semarnat, México.
- Crabtree, B. y Bayfield, N., 1998, "Developing sustainability indicators for mountain ecosystems: a study of Cairngons, Scotland", en *Journal of Environmental Management*, 52:1-14.
- Chávez, M. y Binnqüist, G., 2015, Sobre el bienestar sociambiental. Espacios Transnacionales: revista latinoamericana-europea de pensamiento y acción social, 2(4), enero-julio: 104-111, en <http://www.espaciostransnacionales.org/cuarto-numero/bienestar-socioambiental/>. Consultado 30/03/19.
- Davoudi, S., 2000, "Sustainability: a new vision for the British planning system", en *Planning Perspectives*, 15: 123-137.

- Davoudi, S., 2012, "Resilience: A bridging concept or a dead end?", en *Planning Theory and Practice*, 13(2): 299-307.
- Dale, V. y English, M., 1999, *Tools to aid environmental decision making*, en Springer Verlag, Nueva York.
- Downs, T., 2001, "Making sustainable development operational: Integrated capacity building for the water supply and sanitation sector in Mexico", en *Journal of Environmental Planning and Management*, 44(4): 525-544.
- Eraydin, A., 2015, "The role of regional policies along with the external and endogenous factors in the resilience of regions", en *Cambridge Journal of Regions Economy and Society*, 9(1): 217-234.
- Foladori, G., 2001, *Controversias sobre a sustentabilidad. La coevolución sociedad-naturaleza*. Universidad Autónoma de Zacatecas / Miguel Ángel Porrúa, México.
- Gezelius, S. y Refsgaard, K., 2007, "Barriers to rational decision-making in environmental planning", en *Land Use Policy*, 24: 338-348.
- Hammer, M. y Söderqvist, T., 2001, "Enhancing transdisciplinary dialogue in curriculum development", en *Ecological Economics*, 38(1): 1-5.
- Healey, C., 1998, "Paradigms, policies, and prognostication about the management of watershed ecosystems", En: R., Naiman y R., Bilby (eds), *River ecology and management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*, Pp. 662-679, Springer, USA.
- Hitchcock, E. y Willard, L., 2008, *The step-by-step guide to sustainability planning: how to create and implement sustainability plans in any business or organization*, en Earthscan, Londres.
- Iracheta, A., 1999, "Planeación regional en México", *Memorias del Congreso Gobiernos locales: El futuro político de México*, ITESO, Guadalajara, Jal., México.
- Kammerbauer, J. et al., 2001, "Identification of development indicators in tropical mountains regions and some implications for natural resource policy designs: an integrated community case study", en *Ecological Economics*, 36: 45-60.
- Kates, R., Travis, W. y Wilbanks, T., 2012, "Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient", en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(19): 7156-7161.
- Keeney, L., 1998, "Structuring objectives for problems of public interest", en *Operations Research*, 36: 369-405.
- Keeney, L., 1992, *Value-Focused Thinking: A path to creative decision making*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Keeney, L., 1994, *Using values in operation research*, *Operations Research*, 45(5): 793-813.

- Jantarasami, C., Lawler, J. y Thomas, W., 2010, "Institutional barriers to climate change adaptation in U.S. National Parks and Forests", en *Ecology and Society*, 15(4): 33, en <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art33/>. Consultado 10/05/19.
- Lachapelle, R., McCool, F. y Patterson, E., 2003, "Barriers to effective natural resource planning in a 'Messy World'", en *Society and Natural Resources*, 16: 473-490.
- Lafferty, W. y Meadowcroft, J., 1996, Democracy and the environment: congruence and conflict – preliminary reflections", En: Lafferty W. y Meadowcroft, J. (eds), *Democracy and the environment: problems and prospects*, Pp. 10-28, Edward Elgar, Cheltenham.
- Lehmann, P. et al., 2015, "Barriers and opportunities for urban adaptation planning: analytical framework and evidence from cities in Latin America and Germany", en *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 20: 75-95.
- Lieberman, S., 2012, "Descriptive representation and AIDS policy in South Africa", en *Contemporary politics*, 18(2): 156-173.
- Lichfield, N., 1998, "Trends in planning evaluation: A british perspective", En: Lichfield, N. et al. (eds), *Evaluation in planning. Facing the challenge of complexity*, Pp. 1-18, Kluwer, Academic Publishers, The Netherlands.
- Matus, C., 1992, "El líder sin estado mayor", en *Revista Planeación Estratégica Situacional (PES)*, 1: 9-60.
- McCool, F. y Guthrie, K., 2001, "Mapping the dimensions of successful public participation in messy natural resources management situations", en *Society Nat. Resources*, 14(4): 309-323.
- McClure, L. y Baker, D., 2018, "How do planners deal with barriers to climate change adaptation? A case study in Queensland, Australia", en *Landscape and urban Planning*, 173: 81-88.
- McDaniels, L., Axelrod, J. y Cavanagh, N., 1998, "Public perceptions regarding water quality and attitudes toward water conservation in the Lower Fraser Basin", en *Water Resources Research*, 34(5): 1299-1306.
- Meadowcroft, J., 1999, "Planning for sustainable development: what can be learned from the critics?", En: Kenny, M. y Meadowcroft, J. (eds), *Planning Sustainability*. Routledge, Pp. 5-32, Londres.
- Measham, G. et al., 2011, "Adapting to climate change through local municipal planning: barriers and challenges", en *Mitig Adapt Strat Glob Change*, 16: 889-909.
- Méndez, I. y Guerrero, D., 2006, *El protocolo de investigación. Lineamientos para su elaboración y análisis*, Trillas, México.

- Meppen, T. y Bourke, S., 1999, "Different ways of knowing: a communicative turn toward sustainability", en *Ecological Economics*, 30(3): 389-404.
- Mitchell, B. (ed), 1990, *Integrated water management: International experiences and perspectives*, en *Belhaven Press*, Londres.
- Mitchell, B. y Hollick, M., 1993, "Integrated catchment management in Western Australia: transition from concept to implementation", en *Environmental Management*, (17): 735-743.
- Moguel, P. y Toledo, M., 1999, *Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico*, en *Conservation Biology*, 13(4): 11-21.
- Moore, L., 1994, *What's Stopping Sustainability? Examining the barriers to implementing clouds of change*, MA Thesis, University of British Columbia.
- Moser, C. y Ekstrom, A., 2010, "A framework to diagnose barriers to climate change adaptation", en *Proc Natl Acad Sci*, 107(51): 22026-22031.
- Osorio, J., 2012, *Fundamentos del análisis social. La realidad social y su conocimiento*, FCE-UAM, México.
- Owens, S. y Cowell, R., 2010, *Land and limits: Interpreting sustainability in the planning process*, Routledge, Hoboken.
- Pincharoen, O., 2001, *The planning system and environmental management in Thailand: the role of environmental impact assessment (EIA) in the decision-making process*, Ph.D. Thesis, Faculty of Social and Environmental Studies, University of Liverpool, Liverpool, United Kingdom.
- Post, A., Raile, N. y Raile, D., 2010, "Defining political will", en *Polit Pol*, 38(4): 653-676.
- Quay, R., 2010, "Anticipatory governance", en *Journal of the American Planning Association*, 76(4): 496-511.
- Sampieri, H., Collado, C. y Pilar, L., 2018, *Metodología de la investigación*, McGraw-Hill. México.
- Selman, P., 1999, "Three decades of environmental planning: what have we really learned?", En: Kenny, M., Meadowcroft, J. (eds), *Planning Sustainability*, Pp. 148-174, Routledge, London.
- Strauss, A. y Corbin, J., 2002, *Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar teoría fundamentada*, Universidad de Antioquía / Sage Publications, Colombia.
- Tonn, B., English, M. y Travis, Ch., 2000, "A framework for understanding and improving environmental decision making", en *Journal of Environmental Planning and Management*, 43(2): 163-183.
- Trudgill, S., 1990, "Environmental issues. Progress in Physical Geography", en *Earth and*

Environment, 14(1): 80-88, en <https://doi.org/10.1177/030913339001400105>. Consultado 12/05/19.

Villada, M., 2013, "El rol de la información y la participación pública en la planeación ambiental", en *Investigación Ambiental*, 5(2): 17-26.

Walker, J., Adger, N., Russel, D., 2015, "Institutional barriers to climate change adaptation in decentralized governance structures: Transport planning in England", en *Urban Studies*, 52(12): 2250-2266.

Wilson, E., 2006, "Adapting to climate change at the local level: the spatial planning response", en *Local Environment*, 11(6): 609-625.

Yafee, L. et al., 1996, *Ecosystem Management in the United States: An assessment of a Current Experience*, Island Press, Washington, D. C.

Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales

Aldo Bertoni Mendoza,¹ Adolfo Gpe. Álvarez Macías²
y Daniel Mota Rojas²

Resumen. *En este trabajo se propone una sistematización de información sobre los búfalos con el fin de evaluar sus ventajas y desventajas para perfilarse como una opción para los productores de las regiones tropicales. Se basa en una amplia revisión de literatura, privilegiando la de carácter científico, para examinar sus características fisiológicas, de alimentación y nutrición, genéticas y de reproducción, así como las de sus productos: carne y leche. Se detectaron ventajas en su proceso de adaptación a los hábitats complejos del trópico húmedo, aprovechando recursos forrajeros de baja calidad, facilidades de manejo, rendimientos competitivos respecto a los vacunos y productos con potencial de valorarse en el mercado. Se concluyó que los búfalos representan una opción para diversificar la producción ganadera, con posibilidades de generar ingresos adicionales a los productores pecuarios y favorecer el desarrollo regional del trópico húmedo.*

Palabras clave: búfalos, trópico, indicadores, productos, desempeño.

Abstract. *Information on buffaloes was systematized to assess their advantages and disadvantages as an option for producers in tropical regions. An extensive review of literature was carried out, giving priority to scientific information, to examine their physiological, food and nutrition, genetic and reproductive characteristics, as well as those of their main products: meat and milk. The advantages identified are their process of adaptation to complex habitats of the humid tropics, use of low quality fodder resources, handling facilities, competitive yields with respect to cattle and products with potential to be valued in the market. Their limitations are: need for shade and access*

¹ Estudiante de la Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: aldo_bm@hotmail.com

² Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: aalvarez@correo.xoc.uam.mx y dmota100@yahoo.com.mx.

to bodies of water and manifestation of discrete oestrous. It was concluded that buffaloes are an option for diversifying livestock production, with the possibility of generating additional income for livestock producers and favoring regional development of the humid tropics.

Keywords: *buffaloes, tropics, indicators, products, performance*

INTRODUCCIÓN

Con los búfalos se abre una oportunidad para aprovechar una especie no tradicional, al menos en América Latina, y con amplio potencial para su desarrollo en áreas tropicales, especialmente en las más húmedas. En efecto, se trata de una especie rústica, con capacidad de adaptación a hábitats complejos y reportando índices productivos destacados. El inventario mundial de los búfalos alcanzó 199 millones 280 mil cabezas, en 2016 (Napolitano *et al.*, 2018), con un crecimiento de casi 20% respecto a 2005, tomando como referencia los datos de la FAO (2005, citado por Borghese y Mazzi, 2005).

Los búfalos se adaptan con cierta facilidad a las condiciones típicas de la región tropical húmeda, donde predominan suelos con drenaje deficiente (Gutiérrez *et al.*, 2006; Mendes y De Lima, 2011), así como una oferta de pastos naturales e inducidos que suelen registrar media y baja calidad, los cuales son aprovechados de manera eficaz por esta especie (García *et al.*, 2011; Romero y Pérez, 2014).

De los búfalos se suele obtener, de manera simultánea, leche y carne, no obstante, en algunos casos, son usados con un tercer propósito, como animales de trabajo. Es una especie conocida particularmente por la producción de leche, ya que los búfalos aportan 13% de la producción mundial de este producto (Napolitano *et al.*, 2018).

Aunque resta mucho por documentar respecto a los búfalos, sus bondades son reconocidas, y ello no ha favorecido su expansión en el continente americano, en donde han tenido una introducción pausada, ya que los productores no han respondido de manera entusiasta (Mitat, 2011). En ese sentido, resulta trascendente examinar las ventajas de esta especie animal para que los productores y las instancias gubernamentales puedan favorecer su expansión como una alternativa de desarrollo, que puede representar una fuente de ingresos para los ganaderos y una opción para contribuir al desarrollo de la región tropical (López, 2013). Del mismo modo, los búfalos son una opción para desplegar sistemas sostenibles con productos con alto valor nutritivo e inocuos, con la posibilidad de obtener productos orgánicos (Barboza, 2011).

En ese contexto, el presente trabajo consistió en una revisión bibliográfica, principalmente de documentos basados en evidencia científica, sobre las características anatómicas, fisiológicas y de comportamiento, así como del desempeño productivo y reproductivo del búfalo de agua.³ El objetivo central consistió en examinar y ponderar las posibilidades de desarrollo de esta especie en las regiones tropicales de México.

Origen y distribución de los búfalos

De la existencia del búfalo como animal doméstico se tienen registros desde hace 4,500 años en Asia, en el territorio que actualmente ocupan India y Pakistán. De Asia fue introducido a África, posteriormente a Europa y a Oceanía y, por último, al continente americano (López, 2013; Crudeli *et al.*, 2014).

El búfalo de agua asiático doméstico (*Bubalus bubalis*) se clasifica generalmente en dos subespecies, basadas en el tamaño del cuerpo, la apariencia externa, las características biológicas, su distribución geográfica y su cariotipo: el búfalo de río ($2n = 50$), que se encuentran en el subcontinente indio y al oeste de Italia y, por otra parte, el búfalo de pantano ($2n=48$), de menor tamaño, ubicado en el sudeste de Asia hasta el este de China (Mattapallil y Ali, 1999; Quintanilla, 2014).

Los búfalos de agua pertenecen a la familia *Bovidae* (Cuadro 1), con similitudes con los vacunos domésticos convencionales del género *bos*, pero se sitúan en una posición filogenética distinta y muestran diferencias anatómicas, fisiológicas y de comportamiento, dado que presentan cariotipos distintos y, por ende, son incompatibles para cruzamientos, dado que el búfalo de agua pertenece al género *Bubalus* (Mattapallil y Ali, 1999 y Quintanilla, 2014).

³ El artículo hace referencia al búfalo de agua que con fines prácticos se refiere simplemente como búfalo.

Cuadro 1. Taxonomía de la familia *Bovidae*

| Subfamilia | Características | Género | Especie | Subespecies | Nombre común de los animales |
|------------------|--|------------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| <i>Bovinae</i> | Grandes Rumiantes de 60 cromosomas y género <i>Bibos</i> con 58 cromosomas | <i>Bos</i> | <i>Bos taurus</i> | | Vacunos (2n = 60) |
| | | | <i>Bos indicus</i> | | |
| | | <i>Bibos</i> | | | Gaur, Gayal, Banteg |
| | | <i>Poephagus</i> | | | Yak del Himalaya |
| | | <i>Bison</i> | <i>Bison</i> | | Bisón americano |
| <i>Bubalinae</i> | Todos los bubalinos de 48 a 54 cromosomas | <i>Syncerus</i> | <i>Syncerus caffer</i> | | Búfalo Cape africano (2n = 52) |
| | | | <i>Syncerus nanus</i> | | Búfalo Rojo del Congo (2n = 54) |
| | | <i>Bubalus</i> | <i>B. bubalis</i> | <i>B. b. fluviatilis</i> | Búfalos de río (2n = 50) |
| | | | <i>B. bubalis</i> | <i>B. b. limenticus</i> | Búfalos de pantano (2n = 48) |
| | | <i>Anoa</i> | <i>Anoa quarlesi</i> | | |
| | | | <i>Anoa despressicornis</i> | | Búfalos pequeños de las islas Sulawesi |

Fuente: Patiño *et al.*, 2016.

Son cuatro las razas de búfalos más comunes: tres de origen asiático, la Carabao, la Jafarabadi y la Murrah, y una de origen italiano, la Mediterránea. La Carabao se utiliza principalmente para trabajo; la Jafarabadi presenta aceptable productividad de carne; y para leche, destacan la Murrah y la Mediterránea. El Buffalypso es una raza producto del mestizaje entre las diferentes razas antes referidas (Patiño *et al.*, 2016).

A principios del presente siglo, la mayor población de búfalos se ubicó en el continente asiático, concentrando 95.4% de la población mundial, principalmente en India, China y Pakistán. Le siguió el continente africano con 2.1%, sobresaliendo Egipto. En América y Europa se concentró una parte marginal, de 0.71 y 0.17%, respectivamente (Borghese y Mazzi, 2005).

Características básicas de las regiones tropicales para el desarrollo de los búfalos

Los búfalos están dotados para desarrollarse en condiciones de elevada temperatura y humedad relativa, así como con amplias horas luz por día, que son condiciones propias del trópico húmedo. A estas peculiaridades de los búfalos se suman otras relevantes, como su elevada capacidad para consumir forrajes nativos e inducidos, de baja y media calidad, así como su resistencia a enfermedades infecciosas y parasitarias, tanto internas como externas, que son comunes en las zonas tropicales (Cervantes, 2010; Mitat, 2011; Barboza, 2011).

En el continente americano la mayoría de los países que disponen de zonas tropicales han establecido producciones de búfalos (Mitat, 2011; Crudeli *et al.*, 2014), gracias a sucesivas importaciones y al aprendizaje progresivo de los métodos de crianza, basados en la fisiología y el comportamiento de la especie en cuestión (Mitat, 2011; Cervantes, 2010). En estas regiones se suele contar con recursos financieros limitados, pero la riqueza en sus ecosistemas (González *et al.*, 2018) ha sido el detonante para el establecimiento de sistemas de producción de búfalos de agua.

Aunque en términos productivos existen en el clima tropical húmedo dos épocas bien marcadas, una húmeda y otra seca, se presentan temperaturas que suelen variar entre 23 y 26°C como media anual, con escasa oscilación térmica durante el año. La precipitación pluvial también es elevada y suele rebasar los 2000 mm, con posibilidades de llegar a 4,000 mm al año, lo que generalmente ha permitido el predominio de vegetación abundante como selvas altas perennifolias (U.S. Forest Service, 1994), las cuales se han degradado drásticamente y han derivado en amplias zonas de pastizales y otras vegetaciones secundarias.

Bajo esas condiciones difíciles ha sido posible el desarrollo de pastos adaptados a zonas inundables, por ejemplo: Alemán (*Echinochloa polystachya*), Pará (*Brachiaria mutica*), Chetumal (*Brachiaria humdicola*), Bermuda (*Cynodon dactylon*) y Buffel (*Cenchrus ciliaris*), entre muchos otros. En la mayoría de las zonas tropicales, las tasas de crecimiento de las diferentes especies forrajeras están asociadas con la distribución estacional de la precipitación y la temperatura en el año. La producción de forraje normalmente supera los requerimientos del ganado durante la época de lluvias, cuando alcanzan las tasas de crecimiento más altas. Lo contrario pasa en la época de secas, en las que el ganado, incluidos los búfalos, puede sufrir por falta de forraje (Enríquez *et al.*, 2015; Peters *et al.*, 2010), especialmente si no se tienen esquemas de suplementación apropiados.

En efecto, los pastos tropicales son abundantes, pero de limitada capacidad nutricional, con cierta estacionalidad conforme al régimen de precipitación, a los cuales los

búfalos de agua se adaptan y suelen responder de manera positiva. Esta particularidad se puede potenciar mediante el diseño de sistemas de pastoreo semi-intensivos y agro-silvopastoriles, que pueden optimizar el aprovechamiento de los recursos forrajeros (García y Planas, 2005).

Características morfo-fisiológicas y hábitos de desarrollo

Para profundizar en los atributos fisiológicos de los búfalos de agua, que los distinguen del ganado doméstico del género *Bos* y que les ha permitido su evolución bajo condiciones ambientales difíciles, en este apartado se describen las características que han sido investigadas por diferentes autores.

Comportamiento

Resulta común que los búfalos presenten un comportamiento gregario más acentuado que los vacunos, de ahí que generalmente se encuentren agrupados. Esta conducta facilita la estancia y la conducción de los rebaños en las áreas designadas (García y Planas, 2005). El hábito de consumo del búfalo es nocturno (Romero y Pérez, 2014), o en el horario diurno cuando las temperaturas son más frescas, al principio y al final del día (Salazar, 2000), en pasturas naturales e inducidas, sin ser tan selectivo como el bovino (García y Planas, 2005). Los animales manifiestan un fuerte instinto de supervivencia, por lo que, en caso de quedar sin alimentos suficientes, pueden llegar a romper cercos y otro tipo de barreras en busca de los mismos (Simón y Galloso, 2011).

Mecanismos de termorregulación

El color negro de la piel de los búfalos representa una defensa contra la acción de los rayos ultravioleta, pero, a su vez, los hace más sensibles a la radiación solar directa (Barboza, 2011). Se suma a esta característica la cantidad de folículos pilosos en los búfalos, entre 135 y 145 folículos por cm^2 , versus 3000 folículos por cm^2 , en promedio, para los cebús; lo cual tiene un doble efecto: por un lado, facilita la disipación del calor y, por otro, expone la piel a la acción directa de la radiación solar (Zicarelli, 2016). Además, los búfalos poseen una menor densidad de glándulas sudoríparas, pero éstas comúnmente

son más grandes y de mayor capacidad de termorregulación (Zicarelli, 2016). Es por eso que el búfalo requiere de sombra y zonas inundables y pantanosas como mecanismos de regulación térmica.

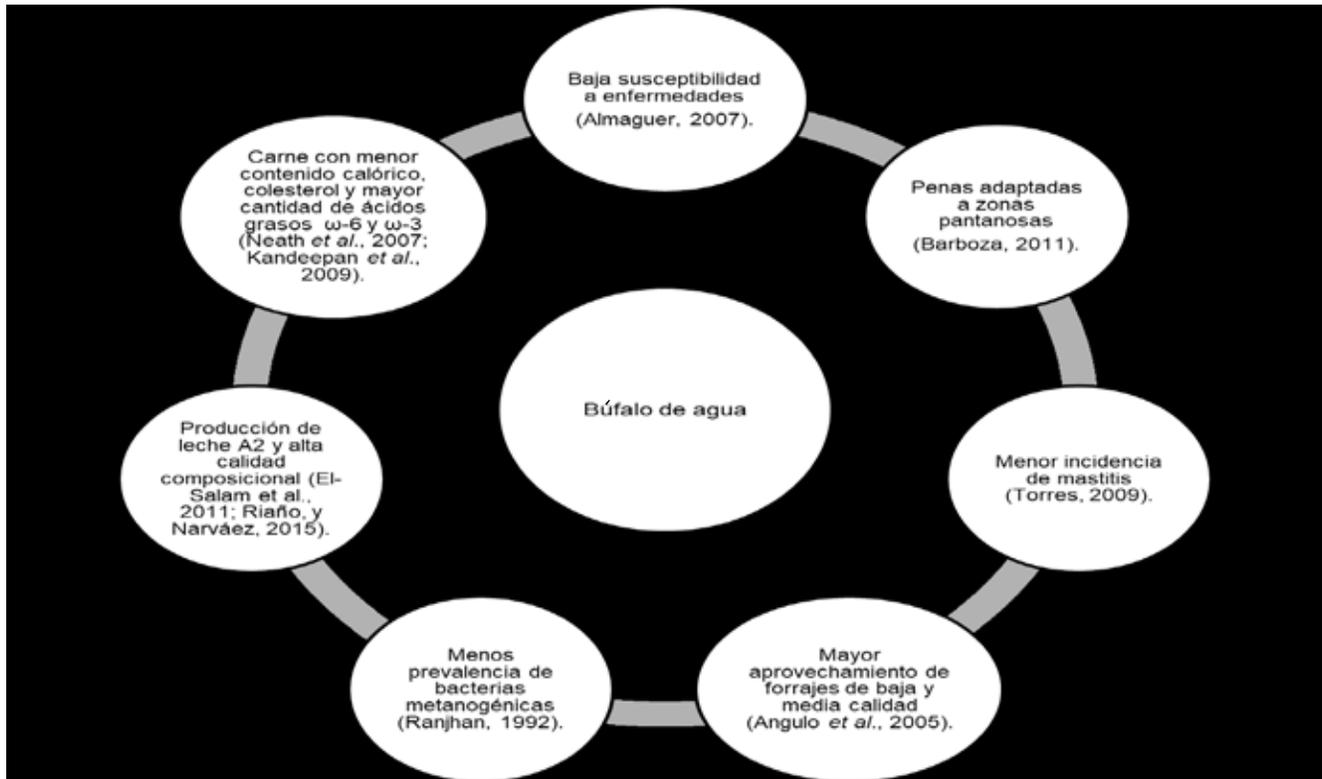
En este último sentido, se ha revelado importante la inclusión de charcas o fosas en las unidades productivas, ya que favorece la interacción de las hembras gestantes en condiciones de altas temperaturas y humedad, gracias a que se mitiga el estrés calórico (Di Palo *et al.*, 2009).

Resistencia a enfermedades

Usualmente, la prevalencia de enfermedades en las unidades de producción pecuarias implica pérdidas económicas. En los sistemas de producción de vacunos, ubicados en trópico, existe una alta incidencia de enfermedades podales, mastitis e infestaciones por ectoparásitos, sin embargo, el búfalo ha mostrado una alta resistencia a este tipo de afecciones. Sus hábitos y morfo-fisiología coadyuvan a que presenten baja susceptibilidad a enfermedades y porcentajes de mortalidad poco significativos (Almaguer, 2007). Los mismos hábitos de termorregulación del búfalo suelen interrumpir el ciclo de los ectoparásitos (Belmiro, 2006).

De acuerdo con Torres (2009), el búfalo registra poco desarrollo de mastitis debido a que sus características anatómicas y fisiológicas generan barreras de penetración de microorganismos a la cisterna de la glándula mamaria, como la oclusión del orificio del pezón y el mayor nivel de queratina (con acción bactericida y bacteriostática) en el canal del pezón. Así mismo, en ambientes naturales de gran humedad, no presentan susceptibilidad a infecciones por bacterias y hongos en las pezuñas (Barboza, 2011). En la Figura 1 se sintetizan las principales características del búfalo relacionadas con su proceso de adaptación al medio tropical.

Figura 1. Características sobresalientes del búfalo de agua en comparación con el vacuno



Fuente: Elaboración propia.

La eficiencia del sistema digestivo

El estómago del búfalo es similar al del vacuno, compuesto por cuatro compartimientos, no obstante, las diferencias propician que el búfalo aproveche más eficientemente los nutrientes de los alimentos. Estudios realizados por Leao *et al.* (1985), que comparan el tracto digestivo de los búfalos con el de los vacunos, muestran que los primeros tienen mayor capacidad de almacenamiento de alimento, ya que el complejo rumen-retículo es significativamente mayor que el de los vacunos. Otro estudio en animales adultos ha demostrado que la tasa media de retención del alimento en el bovino es más lenta que la del búfalo, sin embargo, el búfalo retiene el alimento más tiempo en el complejo retículo-rumen (Bartocci *et al.*, 1997). Varios autores atribuyen esta condición a una masticación

más eficiente y a una mayor degradación de la fracción fibrosa en el rumen, de parte del búfalo (Puppo y Grandoni 1993; Jalaludin *et al.*, 1992; Singh *et al.*, 1992). De igual manera, Sideney y Lyford (1993) reportan en su estudio que los búfalos poseen papilas ruminales más desarrolladas, con lo que, según Angulo *et al.* (2005), estos animales incrementan la absorción de productos de la fermentación.

El rumen del búfalo contiene una de las más densas y variadas poblaciones de microorganismos, la cual mantiene una relación simbiótica con el alimento consumido (Angulo *et al.*, 2005). La mayoría de los estudios revela que en comparación con el vacuno presenta una mayor población de bacterias celulíticas, proteolíticas, amilolíticas y lipolíticas y de hongos sobre condiciones idénticas de dieta (Pant y Roy, 1970; Homma, 1986; Singh *et al.*, 1992; Paul y Lal, 2010), por lo cual se favorece una degradación más eficiente de la pared celular de los forrajes y de la proteína proveniente de la dieta y, con ello, una mayor tasa de transformación de forrajes de baja calidad en ácidos grasos volátiles (AGV) y amonio (Franzolin y Dehority 1999; Ranjhan, 1992; Fundora, 2015). Otra característica que cabe destacar, es la prevalencia de bacterias productoras de gas, la cual es menor en el búfalo (10%) que en el bovino (20%). Se estima que los búfalos producen un menor volumen de metano (Mendes y Lima, 2011), lo que puede ser valorado en el control de gases invernadero.

Para la síntesis de proteína microbiana se necesitan fuentes de nitrógeno, como péptidos, aminoácidos y amonio, los cuales son derivados de la degradación de las proteínas. Diferentes investigaciones indican que los búfalos tienen mayor capacidad que los vacunos para aprovechar tanto la proteína de la dieta, como el nitrógeno amoniacal (Ranjhan, 1992; Souza, 2000; Fundora, 2015).

Principales sistemas de producción de los búfalos

La bubalinocultura se ha organizado principalmente bajo dos regímenes de producción: el semi-intensivo y el extensivo, cada uno con sus características específicas para lograr una mejor relación costo-beneficio. En el primero, el objetivo suele ser la producción de leche y carne (mediante machos sin valor genético). Las instalaciones de este sistema se caracterizan por disponer de un área para el ordeño y otra para mantener a los bucerros durante su periodo de amamantamiento, así como de un cargadero (Almaguer, 2007).

En el mismo sistema semi-intensivo, el área de pastoreo comúnmente está dividida para facilitar el manejo de los animales y mejorar el aprovechamiento de los pastos. El

uso de las cercas eléctricas suele optimizar este tipo de manejo, a las cuales el búfalo ha mostrado plena adaptación (Almaguer, 2007).

En lo que respecta a los sistemas extensivos, se utilizan áreas de libre pastoreo con grupos de animales que mantienen, o debieran mantener, una proporción promedio de 25 búfalas por semental; o bien, se tiene a los animales en corrales múltiples que no deben exceder las 100 hembras por tres a cuatro sementales (García y Planas, 2005). A todo ello, son imprescindibles los corrales de trabajo, donde los animales se adapten al manejo y sea posible realizar procesos básicos, como: identificación, conteo, trabajos de selección y atención a la salud, entre otros (Almaguer, 2007).

Otra vertiente explorada ha sido la de los sistemas agrosilvopastoriles, en los que el componente arbóreo –que sirve como sombra y barrera contra vientos– incide positivamente en la termorregulación de los búfalos (Cubbage *et al.*, 2012). Este tipo de sistema, al combinar diferentes estratos vegetales (incluidos los arbustivos y herbáceos), es muy apropiado en los ambientes tropicales, ya que la sombra aminora la pérdida de energía por termólisis y se favorece la conservación del ecosistema (García *et al.*, 2011).

Los ciclos productivos y reproductivos del búfalo

Los búfalos se adaptan a ambientes con limitada oscilación de calor y humedad, sin embargo, cuando son criados en zonas distantes a la línea del ecuador –bajo mayor variación térmica y del fotoperiodo, a lo largo del año– presentan un comportamiento reproductivo consecuentemente variado, de hecho, esta especie se ha caracterizado como poliéstrica estacional, de días cortos, con mayores manifestaciones de estro durante el otoño (Sampedro y Crudeli, 2016), lo que coincide con épocas con disponibilidad de forraje en áreas tropicales (De Rosa *et al.*, 2009).

La estación óptima de servicio abarca de diciembre a febrero con pariciones de octubre a diciembre y con destete entre agosto y septiembre, dentro del hemisferio norte. Los momentos de requerimiento máximos de las búfalas (inicio de lactancia y servicio) se acoplan a la curva normal de crecimiento del pastizal. El momento de mayor desbalance ocurre durante la parte media de la gestación y la lactancia (Sampedro y Crudeli, 2016). Cabe agregar que los signos de celo en la búfala son más discretos que en la vaca, lo cual implica un reto para los productores (Konrad, 2016).

Según Gómez *et al.* (2007), las crías presentan un peso promedio al nacer de 32 kg a 35 kg, sin distinción entre sexos. Por otra parte, Martínez *et al.* (2009) reportan, para los machos, pesos promedio de 36.86 ± 3.1 kg.

Tras el parto, usualmente a la cría se le desinfecta el ombligo para evitar patologías como onfalitis y onfaloflebitis, posteriormente, debe permanecer al menos 10 días en amamantamiento para asegurar la ingestión de la mayor cantidad de calostro posible. Ante el rechazo de las crías por las madres, se utilizan nodrizas, ya que las búfalas son capaces de aceptar hasta cuatro crías a la vez, por consiguiente, no es común la crianza artificial (García y Planas, 2005).

El destete se efectúa de los 6 a 8 meses según diferentes autores (Martínez *et al.*, 2009; Vázquez *et al.*, 2018). Los pesos promedios al destete fueron de 220 a 240 kg, de acuerdo a Vázquez *et al.* (2018); el valor más alto fue presentado por Bavera (2005) con 260 kg, mientras que Martínez *et al.* (2009) observaron los más bajos, de 130 a 154 kg. En el indicador anterior se detectaron diferencias notables, lo cual se relaciona con la disponibilidad de alimento en las diferentes zonas de estudio (Martínez *et al.*, 2009) y con la calidad composicional de la leche de búfala y su efecto en los pesos al destete de las crías (Gómez *et al.*, 2007).

Ciclos de producción de carne y leche

En animales seleccionados para producción de carne se alcanzan ganancias de peso sobresalientes, por ejemplo, Fundora (2015), al comparar el comportamiento productivo de búfalos buffaypso y cebú comercial bajo las mismas condiciones en pastoreo, con una duración del experimento de 287 días, reportó ganancias de peso 1.6 veces mayores en el búfalo que en el cebú.

En 2004 se realizó otro estudio, donde el búfalo alimentado con forraje de mala calidad y con un peso inicial de 130.5 kg presentó una ganancia de peso diario mayor a 0.7 kg, alcanzando el peso vivo de sacrificio a los 23.1 meses con un peso final de 475 kg (Fundora *et al.*, 2004); en tanto Bavera (2005) obtuvo valores de hasta 550 kg de peso a los 24 meses de edad. En contraparte, el rendimiento en canal reportado fue de 54% para el búfalo, debido a que el cuero, la cabeza y las vísceras resultan comparativamente más pesadas (Torres, 2009).

En cuanto a las hembras destinadas a la producción de leche, éstas muestran valores de llegada a la pubertad altamente variables, en un rango de 18 a 46 meses (Jainudeen y Hafez, 2000). En condiciones favorables, el búfalo de río puede alcanzar la pubertad entre los 15 y 18 meses, y los búfalos de pantano, entre los 21 y 24 meses (Barile, 2005). De acuerdo con Saini *et al.* (1998), las bubillas Murrah llegan a la pubertad a los 36.5 meses con 355.8 kg de peso vivo, asimismo, cuando se mejoran las condiciones

ambientales para disipar el calor, se reduce la edad al primer estro a 33.1 meses, con un peso promedio de 322.3 kg.

Por otro lado, la edad al primer servicio –cuando la bubilla comienza la madurez sexual y, por ende, tiene la capacidad de concebir, llevar a término una gestación y continuar con su producción y desarrollo–, se debe alcanzar cuando llegue a 65% del peso adulto (Acuña y Crudeli, 2016). Considerando el peso promedio de hembra predominante en las distintas regiones de Latinoamérica, de 525 kg, el peso promedio al primer servicio es de alrededor de 340 kg (Crudeli, 2011), en tanto que la edad en que se registra este evento, según lo reportado por Bedoya *et al.* (2002), es de 27.27 ± 1.97 meses.

Es importante valorar la condición corporal al momento del servicio. Los animales con el máximo desempeño reproductivo presentaron, en un estudio realizado por Anitha *et al.*, (2011), una condición corporal de 3.5 a 4.0 al parto y de 3.0 a 3.5 al primer servicio. La tasa de preñez al momento del servicio, con una condición corporal de 3.5, es de 86% (Sampedro y Crudeli, 2016).

El periodo de gestación en búfalas es casi un mes más amplio que en el caso de los vacunos, con un rango de 299 a 340 días (Crudeli, 2011). El periodo de gestación depende de la raza: para la Murrah es de 300 a 306 días, en tanto que, para la Mediterránea, se prolonga de 311 a 315 días y en la raza Jafarabadi puede llegar hasta los 330 días; por su parte, el búfalo de pantano (Carabao) presenta una duración más larga que puede llegar hasta los 340 días (Montiel y Montiel, 2016). Finalmente, las búfalas presentan una tasa de parición de aproximadamente 90% (Vázquez *et al.*, 2018), que es uno de los registros que les genera ventajas frente a otras especies, especialmente la bovina.

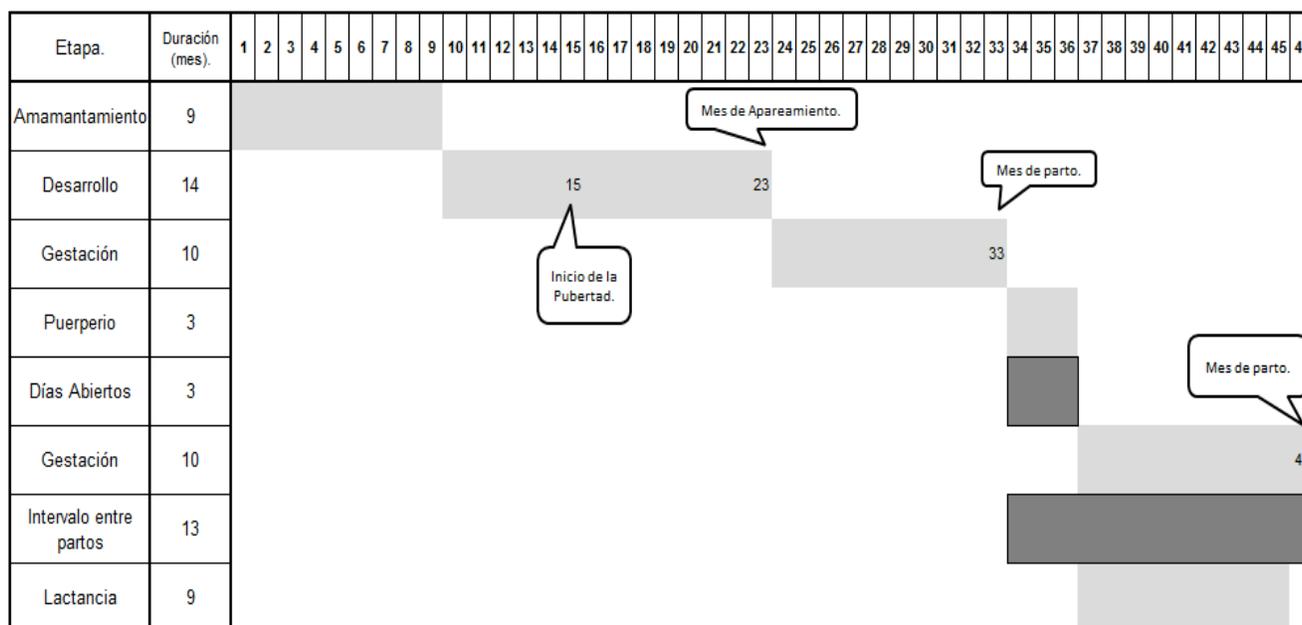
Después del parto se inicia la etapa de lactancia, la cual registra duraciones promedio de 240 a 270 días, según reportan Vázquez *et al.* (2018) y Gutiérrez *et al.* (2006). En el caso de Brasil, Crudeli (2011) registró búfalas que producen hasta 5200 litros de leche por lactación, que sin duda es un rendimiento sobresaliente en condiciones de trópico.

Al mismo tiempo que inicia la lactancia, comienza una serie de modificaciones fisiológicas en el útero de la búfala para recuperarse de las transformaciones sufridas durante la preñez, de modo que sea posible la siguiente gestación. Este proceso, conocido como puerperio, indica que la involución uterina finaliza alrededor de los 18 días postparto y tiene su primer celo y ovulación alrededor de los 37 y 38 días postparto, respectivamente (Crudeli y De La Sota, 2016). Debido a la duración del periodo de gestación, es importante que el tiempo entre el parto y la subsecuente concepción no rebase los 60 días para que los intervalos entre partos se acerquen a los 12 meses, como referente ideal. De hecho, para lograr un intervalo entre partos de 13 a 14 meses bajo condiciones de explotación comercial, la concepción debe ocurrir de 85 a 115 días postparto (Crudeli y De La Sota,

2016). En la investigación presentada por Martínez *et al.* (2009), el intervalo entre partos fue de 13.93 ± 1.18 meses; datos similares reportaron Bedoya *et al.* (2002) con 13.83 ± 1.04 meses. Dicho indicador es de alta importancia económica, ya que se relaciona con el tamaño de la descendencia y, por ende, con los índices de productividad y rentabilidad.

En un estudio de exploración directa, realizado por los autores de este documento, en unidades de producción de búfalo al sureste de México, se observó un peso promedio de 245 kg en las crías destetadas a los nueve meses de edad. El inicio de la pubertad se identificó a los 15 meses con alrededor de 300 kg; la edad al primer servicio, a los 23 meses con un peso aproximado de 360 kg. La gestación fue de 300 días, alcanzando un peso de 520 kg al primer parto con 33 meses. La lactancia media fue de 270 días, con un periodo medio de parto/preñez de tres meses, logrando un intervalo entre partos de aproximadamente 390 días (Figura 3).

Figura 3. Ciclo productivo y reproductivo de la búfala



Fuente: Elaboración propia con base en observaciones de campo, 2019.

Es importante subrayar que la variación de parámetros productivos estimados por los diferentes autores se explica en función de la diversidad de macro y micro condiciones como, por ejemplo, las concernientes a alimentación, instalaciones, manejo, genética y

bienestar animal, entre otras, en las que se mantienen los búfalos de agua. Por consiguiente, con un adecuado control de estas condiciones, los búfalos pueden expresar su potencial productivo (Bedoya *et al.*, 2002). Lo anterior se ha tratado de optimizar a través de biotecnologías, como la inseminación artificial (IA), la transferencia embrionaria (TE) y la fertilización *in-vitro* (FIV) (Crudeli, 2011). La experiencia directa permite inferir que estos avances se atribuyen principalmente a importaciones de material genético, proveniente de países con programas genéticos avanzados, entre los cuales resalta Italia con la raza mediterránea, ya que genera indicadores en función de estimaciones genéticas y de pedigrí, relacionados con características de salud, tipo, productivas y reproductivas.

De igual forma, se experimentan sincronizaciones de estro para la desestacionalización de los ciclos de las búfalas, lo cual permite mejorar genéticamente al ganado y disponer de lotes con potencial para producir todo el año, a fin de atender la creciente demanda de alimentos de buena calidad (Baruselli y Carvalho *et al.*, 2016), bajo los criterios que se examinan en el siguiente apartado.

Producción de leche y carne de búfalo

En respuesta a una demanda creciente y diversificada, se han buscado, y han surgido, nuevas alternativas para producir alimentos. La crianza del búfalo contribuye en ese sentido tanto con carne, como con leche de alta calidad composicional.

La búfala como productora de leche

La leche de búfala tiene un valor altamente nutritivo, por lo cual es valorada en productos derivados como quesos, mantequilla, leche en polvo, leches maternizadas, leches fermentadas, helados y dulce de leche, entre otros. Además, posee un alto rendimiento en la elaboración de dichos productos, gracias a la rica composición de la leche, en el que se comparan cuatro estudios de análisis composicional. Es pertinente destacar aquí el porcentaje de grasa, con valores superiores a 7.0 y un máximo de 8.8 (Patiño *et al.*, 2005). La proteína supera 4%, sobresaliendo el resultado de Patiño *et al.* (2005) con 5.2%. En lactosa, el valor más alto lo reportaron Mahmood y Usman (2010) con 5.41%, y el más bajo lo reportó Patiño *et al.* (2005) con 4.55%. Tales valores son comparativamente positivos, como lo constatan otros autores y estudios (El-Salam, 2011; Patiño, 2011; Cervantes, 2010).

En algunos países, como es el caso de India y Pakistán, la búfala aporta más leche que el ganado vacuno (El-Salam, 2011). Como se muestra en el estudio de Ocampo (2016), la leche de búfala, en comparación con la de vaca y la de cabra, es más rica en casi todos los nutrientes principales, como proteína, grasa, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos y minerales (Ocampo *et al.*, 2016) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparativo de composición de leche de la vaca, cabra y búfala

| Especie | % Lactosa | % Grasa | % Proteína | %Sólidos totales | Calcio (mg/kg) | Fósforo (mg/kg) | Potasio (mg/kg) | Magnesio (mg/kg) |
|---------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Vaca | 4.50 ± 0.01 | 3.6 ± 0.25 | 3.02 ± 0.1 | 11.93 ± 0.31 | 769.9 ± 49.64 | 545.75 ± 50.56 | 1157.05 ± 163.27 | 39.65 ± 9.40 |
| Cabra | 4.20 ± 0.01 | 4.40 ± 0.30 | 3.01 ± 0.29 | 12.59 ± 0.01 | 609.1 ± 53.60 | 560.8 ± 29.56 | 1142.65 ± 11.95 | 44.85 ± 3.04 |
| Búfala | 5.06 ± 0.01 | 7.24 ± 0.35 | 4.08 ± 0.21 | 16.82 ± 0.52 | 1166.65 ± 260.43 | 635.15 ± 52.82 | 582.35 ± 125.94 | 66.1 ± 0.28 |

Fuente: Ocampo *et al.*, 2016.

La composición proteica de la leche de búfala también es sobresaliente, ya que de entre las proteínas de la leche más importantes, se encuentran las caseínas: α , κ y β (Versteeg, B., 2015). La producción de β -caseína está controlada por dos variantes: la A1 y la A2. La variante A1 se presenta con alta frecuencia en leche de vaca, y tiene relación con la diabetes mellitus y la arterioesclerosis (Riaño y Narváez, 2015). La leche de búfala, en cambio, sólo contiene la variante A2, al igual que la leche de cabra. Además, otro estudio reportó que personas alérgicas a la leche de vaca pueden tolerar la de búfala, lo que aumenta sus propiedades alimenticias (El-Salam, 2011).

En referencia a los productos derivados de la leche de búfala, también se ha estimado un rendimiento industrial superior al obtenido con leche de vaca, como puede observarse en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Rendimientos derivados de la leche bufalina y vacuna

| Producto | Rendimiento para un kilogramo de producto | | Economía de la materia prima (%) |
|------------------|---|---------------|----------------------------------|
| | Búfala (litros) | Vaca (litros) | |
| Yogurt | 1.2 | 2.0 | 40 |
| Queso Mozzarella | 5.5 | 8.0 a 10.0 | 39 |
| Dulce de Leche | 2.5 | 3.5 | 29 |
| Mantequilla | 15.0 | 20.0 | 25 |
| Queso Provolone | 7.43 | 8.0 a 10.0 | 20 |

Fuente: Patiño, 2011.

El búfalo como productor de carne

Diferentes estudios realizados con diversas razas de búfalos reflejan su alto potencial para la producción de carne. Al contrastar los rendimientos del búfalo con los del ganado vacuno, el búfalo es más precoz, con mejores tasas de conversión alimenticia y un peso para sacrificio en periodos más cortos; ventajas que resultan de un aprovechamiento más eficiente de las pasturas (Gómez *et al.*, 2007; Cervantes *et al.*, 2010; Guerrero *et al.*, 2019).

Además, la carne producida por los búfalos no difiere en sabor, textura y palatabilidad de la del vacuno, aunque presenta una distribución de la grasa corporal diferente, pues se concentra alrededor de los riñones y en el mesenterio. Sólo una mínima parte de grasa se acumula en los músculos, lo que deriva en una carne más magra (Torres, 2009). La carne de búfalo tiene la ventaja adicional de un contenido reducido de ácidos grasos saturados y colesterol (Paleari *et al.*, 1997), así como un mayor contenido de ácidos grasos ω -6 y ω -3. Por ello, la carne de búfalo constituye una opción en la alimentación humana con menor riesgo a ciertas enfermedades que la de otro tipo de carnes (Neath *et al.*, 2007; Kandeepan *et al.*, 2009).

Sin embargo, en países en los que la carne de búfalo es de reciente introducción, como México, prácticamente no se hace diferenciación alguna y se comercializa como carne de vacuno. Esta tendencia representa una desventaja para la carne de búfalo, a efecto de que los consumidores la incorporen paulatinamente en su dieta en consideración a los beneficios que les reporta. Este inconveniente es debido, en gran medida, a que en la legislación de muchos países la carne de búfalo no está presente en la normatividad ni en los esquemas de trazabilidad, situación que hasta ahora ha impedido el acceso de la carne de búfalo a mercados más amplios y a mayores precios en perjuicio de los productores de bubillos.

CONCLUSIONES

La producción de búfalos en las zonas tropicales se está afianzando como una alternativa productiva, dada su amplia capacidad de adaptación, así como por su potencial para responder a esquemas de desarrollo sustentable. Los búfalos destacan por su rusticidad, que bien aprovechada puede implicar el aprovechamiento de zonas donde otras especies difícilmente prosperarían.

Para avanzar en esa línea y generar productos con valor económico y social, se requiere de conocimientos cada vez más finos sobre el desempeño de los búfalos en el me-

dio ambiente donde se interviene, así como de la implementación de medidas prácticas y tecnologías para establecer los índices de agostadero adecuados y, en su caso, sistemas de pastoreo tecnificado que permitan un equilibrio entre productividad, economía y sustentabilidad. A la par, son necesarias precisiones para tecnificar el manejo general de los sistemas bufalinos que incidan en diversos aspectos, como: alimentación, nutrición, reproducción, genética, y bienestar animal, entre otros. Como se ha documentado, en los sistemas de baja y mediana densidad, así como en los silvopastoriles, los búfalos registran niveles de productividad aceptables.

Las posibles mejoras a los sistemas de producción de búfalos rebasan los aspectos técnico-productivos, ya que también se deben considerar las condiciones de mercado para que se integren las normas sanitarias y de inocuidad correspondientes, con el fin de diferenciar la leche, carne y derivados provenientes del búfalo, destacando sus cualidades. Estas acciones se podrían acompañar de campañas de difusión para que los consumidores conozcan las peculiaridades de los productos y subproductos de esta especie.

Para promover su aceptación es necesario que el sector académico amplíe y profundice sus investigaciones en materia de cría, gestión y aprovechamiento del búfalo. Se requiere tanto de información básica y experimental sobre el potencial productivo de la especie, como del desarrollo de tecnologías para elevar la productividad de las explotaciones, bajo una perspectiva de desarrollo sustentable. Además, se precisa de esquemas más eficientes de organización y acceso a mercados que permitan generar mayores ingresos a los productores y favorecer el desarrollo regional de áreas del trópico que lo permitan.

BIBLIOGRAFIA

- Acuña, M. y G. Crudeli, 2016, "Pubertad", en Crudeli, G. *et al.* (comp.), *Reproducción en Búfalas*, Ediciones Moglia, Argentina.
- Ahmad, S. *et al.*, 2008, "Effects of acidification on physico-chemical characteristics of buffalo milk: A comparison with cow's milk", en *Food Chemistry*, 106(1): 11-17.
- Almaguer, P., 2007, "El búfalo, una opción de la ganadería", en *Revista Electrónica de Veterinaria*, 8(8): 1-23
- Angulo, R. *et al.*, 2005, "El búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) un eficiente utilizador de nutrientes: aspectos sobre fermentación y digestión ruminal", en *Livestock Research for Rural Development*, 17(67).

- Anitha, A. *et al.*, 2011, "A body condition score (BCS) system in Murrah buffaloes" en *Buffalo Bull*, 30(1): 79-96.
- Barboza, J., 2011, "Bondades ecológicas del búfalo de agua: camino hacia la certificación", en *Revista Tecnología en Marcha*, 24(5): 82.
- Barile, V., 2005, "Reproductive efficiency in female buffaloes", en Borghese, A. (comp.), *Buffalo Production and Research*, FAO Technical Series, vol. 67, FAO, Roma.
- Bartocci, S. *et al.*, 1997, "Solid and fluid passage rate in buffalo, cattle and sheep fed diets with different forage to concentrate ratios", en *Livestock Production Science*, 52(1): 201-208.
- Baruselli, P. y N. Carvalho, 2016, "Sincronización Del Celo e Inseminación Artificial a Tiempo Fijo", en: Crudeli, G. *et al.*, (comp.), *Reproducción en Búfalos*, Ediciones Moglia, Argentina.
- Bavera, G., 2005, "Búfalo de agua: razas", en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/razas_de_bufalos/34-bufalo.pdf. Consultado 05/04/19.
- Bedoya, C. *et al.*, 2002, Parámetros reproductivos del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) en el sur de Córdoba, Documento de discusión, VI World Buffalo Congress, The Buffalo: An alternative for Animal Agricultural in the Third Millenium, Venezuela.
- Belmiro, E., 2006, Explotación ecológica del Búfalo, Documento de discusión, Segundo Simposio de Búfalos, Europa-América.
- Borghese, A. y M. Mazzi, 2005, "Buffalo population and strategies in the world", en: Borghese, A. (comp.), *Buffalo Production and Research*, FAO Technical Series, vol. 67, FAO, Roma.
- Cervantes, A. *et al.*, 2010, "Viabilidad de los sistemas bufalinos en Colombia", en *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 2(1): 215-224.
- Crudeli, G., R. De La Sota, 2016, "Puerperio", en Crudeli, G. *et al.* (comp.), *Reproducción en Búfalos*, Ediciones Moglia, Argentina.
- Crudeli, G., 2011, "Fisiología reproductiva del búfalo", en *Tecnología en Marcha*, 24(5): 74-81.
- Crudeli, G., 2014, "Pasado, presente y futuro del búfalo en Argentina", en *Revista veterinaria*, 25(2): 140-145.
- Cubbage, F. *et al.*, 2012, "Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world", en *Agroforestry Systems*, 86(1): 303-314.
- De Rosa, G. *et al.*, 2009, "The welfare of dairy buffalo", en *Italian Journal of Animal Science*, 8(1)103: 116.
- Di Palo, R. *et al.*, 2009, "Incidence of pregnancy failures in buffaloes with different rearing system", en *Italian Journal of Animal Science*, 8(2)619: 621.

- El Salam, M. y S., El Shibiny, 2011, "A comprehensive review on the composition and properties of buffalo milk", en *Dairy science & technology*, 91(6)663: 699.
- Enríquez, Q. *et al.*, 2015, Producción y Manejo de Gramíneas Tropicales para Pastoreo en Zonas Inundables, en *INIFAP-Colegio de Postgraduados*, Folleto Técnico, en https://www.researchgate.net/publication/280082284_Produccion_y_Manejo_de_Gramineas_Tropicales_para_Pastoreo_en_Zonas_Inundables. Consultado 15/03/19.
- Franzolin, R. y B. Dehority, 1999, "Comparison of protozoal population and digestion rates between water buffalo and cattle fed an all forage diet", en *Journal Applied Animal Research*, 16(1): 33-46.
- Fundora, O. *et al.*, 2004, "Performance and carcass composition in river buffaloes fed a mixture of star grass, natural pastures and native legumes", en *Cuban Journal of Agricultural Science*, 38(1): 41-44.
- Fundora, O., 2015, "Comportamiento de búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) de la raza Buffalypso en sistemas de alimentación basados en pastoreo: quince años de investigaciones en el Instituto de Ciencia Animal", en *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(2): 161-171.
- García, A. *et al.*, 2011, "Physiological features of dairy buffaloes raised under shade in silvipastoral systems", en *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10): 1409-1414.
- García, S. y T. Planas, 2005, *Manual de crianza del búfalo*, RACPA, Cuba.
- Gomez, D. *et al.*, 2007, "El búfalo como animal productor de carne: producción y mejoramiento genético", en *Revista Lasallista de Investigación*, 4(2): 43-49
- González, P., 2018, "Presentación y resumen del documento del estado de arte de la red de innovación tecnológica para la ganadería bovina tropical (REDGATRO)", en: González, P. *et al.* (comp.), *Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería tropical*, 2ª edición, REDGATRO, México.
- Guerrero, L. *et al.*, 2018, "El Búfalo de Agua: versátil, rústico y sostenible como productor de carne" en *Agro Meat Argentina*, pp. 1-10, en <https://www.agromeat.com/260242/el-bufalo-de-agua-versatil-rustico-y-sostenible-como-productor-de-carne>. Consultado 17/04/19.
- Gutiérrez, A. *et al.*, 2006, "Estimativas de factores de corrección para duración de la lactancia, edad y época de parto en búfalas de la Costa Atlántica Colombiana", en *Livestock Research Rural Development*, 18(4).
- Homma, H., 1986, "Cellulase activities of bacteria in liquid and solid phases of the rumen digesta of buffaloes and cattle", en *Japanese Journal of Zootechnical Sciences*, 57(1): 336-341.

- Jainudeen, M. y E. Hafez, 2000, "Cattle and buffalo", en: Hafez B. y E. Hafez (comp.), *Reproduction in farm animals*, 7ª edición, Wiley Online Library, USA.
- Jalaludin, S. *et al.*, 1992, "Rumen microorganism in water buffalo", en *Buffalo Journal*, 8(1): 211-220.
- Kandeepan, G. *et al.*, 2009, "Buffalo as a potential food animal", en *International Journal of Livestock Production*, 1(1): 001-005.
- Konrad, J., 2016, "Inseminación Artificial", en: Crudeli, G. *et al.* (comp.), *Reproducción en Búfalas*, Ediciones Moglia, Argentina.
- Leao, M. *et al.*, 1985, "Biometría do trato digestivo de bubalinos y bovinos", en *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 14(5): 559-564.
- Lopéz, A., 2013, "Perspectivas de la crianza del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) en la Amazonía Ecuatoriana", en *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 2(1): 19-30.
- Mahmood, A. y S. Usman, 2010, "A comparative study on the physicochemical parameters of milk samples collected from buffalo, cow, goat and sheep of Gujrat, Pakistan", en *Pakistan Journal of Nutrition*, 12(1): 1192-1197.
- Martínez, A. *et al.*, 2009, "Comportamiento de algunos indicadores productivos y reproductivos del búfalo de río en la provincia Granma" en *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(2): 127-130.
- Mattapallil, M. y S. Ali, 1999, "Analysis of conserved microsatellite sequences suggests closer relationship between water buffalo *Bubalus bubalis* and sheep *Ovis aries*", en *DNA and cell biology*, 18(6): 513-519.
- Mendes, A. y F. Lima, 2011, "Aspectos nutricionales del búfalo", en *Tecnología en Marcha*, 24(5): 105-120.
- Mitat, V., 2011, "Antecedentes y perspectivas de la actividad bufalina en el trópico", en *Revista Tecnología en Marcha*, 24(5): 121.
- Montiel, U. y M. Montiel, 2016, "Fecundación, Gestación y Parto", en: Crudeli, G. *et al.*, (comp.), *Reproducción en Búfalas*, Ediciones Moglia, Argentina.
- Muñoz, G. *et al.*, 2016, "Producción y calidad nutrimental de forrajes en condiciones del Trópico Húmedo de México", en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(16): 3315-3327.
- Napolitano, F. *et al.*, 2018, "El bienestar de la búfala lechera al parto", en ResearchGate, en https://www.researchgate.net/publication/332494463_EL_BIENESTAR_DE_LA_BUFALA_LECHERA_AL_PARTO. Consultado 28/03/19.
- Neath, K. *et al.*, 2007, "Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging", en *Meat science*, 75(3): 499-505.

- Ocampo, R. *et al.*, 2016, "Estudio comparativo de parámetros composicionales y nutricionales en leche de vaca, cabra y búfala, Antioquia, Colombia", en *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(1): 177-186.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *Ganadería Tropical*, en <http://www.fao.org/3/ah647s/AH647S06.htm>. Consultado 27/01/19.
- Paleari, M. *et al.*, 1997, "Comparison of the physico-chemical characteristics of buffalo and bovine meat", en *Fleischwirtschaft international*, 6(1): 11-13.
- Pant, H., A. Roy, 1970, "Studies on the rumen microbial activity of buffalo and zebu cattle. Concentrations of micro-organisms and total and particulate nitrogen in the rumen liquor", en *Indian Journal of Animal Sciences*, 40(6): 600-609.
- Patino, E. y S. Guanziroli, 2005, "Milk composition of breed Jafarabadi in Corrientes", en *Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(5): 1-4.
- Patiño, E. *et al.*, 2016, "Origen, Distribución y Razas", en Crudeli, G. *et al.* (comp.), *Reproducción en Búfalas*, Ediciones Moglia, Argentina.
- Patiño, M. *et al.*, 2005, "Contenido mineral de leche de búfalas (*Bubalus bubalis*) en Corrientes, Argentina", en *Revista Veterinaria*, 16(1): 40-42.
- Patiño, M., 2011, "Producción y calidad de la leche bubalina", en *Revista Tecnología en Marcha*, 24(5): 25.
- Paul, S., 2011, "Nutrient requirements of buffaloes", en *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(1): 93-97.
- Paul, S. y Sal, D., 2010, "Nutrient requirements of buffaloes", New Delhi: Satish Serial Publishing House (137), 128 pp.
- Peters, M. *et al.*, 2010, *Especies Forrajeras Multipropósito Opciones para Productores del Trópico Americano*, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia.
- Puppo, S. y F. Grandoni, 1993, *Microflora ruminale in bufali e bovini alimentati con diete fibrose*, Documento de discusión, Atti Convegno Miglioramento dell'efficienza produttiva e riproduttiva della specie bubalina, Italia.
- Quintanilla, Q., 2014, *Variación genética de una población colombiana de búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) a través de un panel de microsátélites relacionados con la especie*, tesis de Maestría en Ciencias-Biología, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Ranjhan, S., 1992, "Nutrition of river buffaloes in Southern Asia", en *ELSEVIER*, 111-134.
- Riaño, J. y S. Narváez, 2015, "Composición, beneficios y enfermedades asociadas al consumo de leche de vaca", en *Revista Sthetic & Academy*, 13-24.
- Romero, S. y A. Pérez de León, 2014, "Bubalinocultura en México: retos de industria pecuaria naciente", en: González, S. *et al.* (comp.), *Logros y Desafíos de la Ganadería Doble Propósito*, núm 6, Venezuela.

- Saini, M. *et al.*, 1998, "The effect of improved management on reproductive performance of pubertal buffalo heifers during summer", en *Indian Journal of Dairy Science*, 51(4): 250-253.
- Salazar, D., 2000, Algunos parámetros reproductivos de un rebaño bufalino, Documento de discusión, I Congreso internacional sobre mejoramiento animal, Cuba.
- Sampedro, D. y G. Crudeli, 2016, "Condición Corporal y Preñez en Búfalas", en: Crudeli, G. *et al.* (comp.), *Reproducción en Búfalas*, Ediciones Moglia, Argentina.
- Sideney, J. y J. Lyford, 1993, "Crecimiento y desarrollo del aparato digestivo de los rumiantes", en: Church, D. (comp.), *El rumiante, fisiología digestiva y nutrición*, Editorial Acribia S. A., España.
- Simón, L. y M. Galloso, 2011, "Presence and perspective of buffaloes in Cuba", en *Pastos y Forrajes*, 34(1): 3-20.
- Singh, S. *et al.*, 1992, "Relative ruminal microbial profile of cattle and buffalo fed wheat straw-concentrate diet", en *Indian Journal Animal Science*, 62(12): 1197-1202.
- Souza, N. *et al.*, 2000, "Effects of the increasing levels of neutral detergent fiber in the diet on the ruminal fermentation in water buffaloes and cattle", en *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(5): 1553-1564.
- Torres, E., 2009, "Búfalos: una especie promisoriosa", en *Sitio Argentino de Producción Animal*, en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/razas_de_bufalos/69-Bufalos_peru.pdf. Consultado 03/02/19.
- U. S. Forest Service, 1994, Capítulo 1. La América Tropical, una Región Forestal, en https://www.fs.fed.us/research/publications/producci%F3n_forestal_para_am%E9rica_tropical/cap.1.pdf. Consultado 09/09/19.
- Vázquez, D. *et al.*, 2019, "Búfalos de Agua (*Bubalus babalis*) Parámetros zootécnicos en el sur de Veracruz, México", en *Revista Entorno Ganadero*, 42-45.
- Versteeg, B., 2015, "Aumenta la Popularidad de la leche A2", en *Semex News*, en http://www.semex.com/downloads/sitefiles/sp/A2A2report_MAR2016SP.pdf. Consultado 12/02/19.
- Zicarelli, L., 2016, "Estacionalidad Reproductiva en Búfalas", en: Crudeli, G. *et al.* (comp.), *Reproducción en Búfalas*, Ediciones Moglia, Argentina.

Relaciones entre el Estrés Oxidativo y la Salud

Guadalupe Prado Flores¹

Resumen. La homeostasis óxido-reductora participa en el mantenimiento de la estructura y funcionalidad de los sistemas vivos. Las perturbaciones que exceden su capacidad regulatoria se conocen como estrés oxidativo, el cual genera alteraciones genéticas, bioquímicas y fisiológicas en los organismos. En esta revisión se aborda el significado biológico de la transferencia electrónica en moléculas participantes en el fenómeno, se analiza la acción de sistemas antioxidantes celulares en condiciones saludables y sus alteraciones en procesos disfuncionales. Se citan los principales agentes oxidantes, su naturaleza, su acción sobre el metabolismo celular y sus fuentes en la naturaleza. Se muestran evidencias de su efecto tóxico sobre ácidos nucleicos, proteínas y lípidos, y se dan ejemplos de patologías neurodegenerativas, cardiovasculares y metabólicas ligadas a desregulaciones redox. Igualmente, se muestran algunos avances de sustancias y mecanismos utilizados en tratamientos profilácticos o terapéuticos.

Palabras clave: estado redox, oxidantes, antioxidantes, regulación, patologías, salud.

Abstract. Redox status is linked with the health through a net that evolves cell structure, functionality and cell organization. The disturbance that exceeds the capacity to regulate the redox status is known as oxidative stress and when it happens, it modifies the genetic, biochemical and physiological dynamic of an organism. This injury on sensitive biomolecules modifies cell process and the disease is presented. In this paper, we explain the biological meaning of the electronic transference on the molecules that participate in the system and the antioxidant cell pathways in normal and abnormal conditions. We enumerate the oxidant agents and describe their nature, their action on

¹ Profesora-Investigadora, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: gprado@correo.xoc.uam.mx

the cell metabolism and their presence in the nature. We show their toxic effects on nucleic acids, proteins and lipids related with genetics, neurodegenerative, metabolic and cardiovascular diseases. Finally, we show results about some actual advances in therapeutic or prophylactic treatments.

Keywords: *redox state, oxidant agents, antioxidant mechanism, regulation, disease, health.*

INTRODUCCIÓN

El estrés oxidativo (EO) se define como una situación de desbalance metabólico que conduce a alteraciones en la señalización redox y/o daño oxidativo, facilitando el desarrollo y progresión de patologías degenerativas e inflamatorias (Paparella *et al.*, 2015). Consiste en procesos bioquímicos con formación de especies reactivas, las cuales expresan efectos específicos en moléculas fundamentales de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Los efectos de estas especies reactivas sobre moléculas funcionales en organelos específicos, los hace responsables de disfunciones (Nelson y Cox, 2000).

El EO se estudia bajo diferentes ángulos: i) naturaleza, ii) funciones, iii) mecanismos de generación y de acción, iv) implicaciones metabólicas y termodinámicas, v) en la generación de recursos idóneos para la identificación y medición de especies reactivas de oxígeno y de nitrógeno involucradas en el fenómeno, vi) en las metodologías para conocer sus acciones sobre componentes, estructuras y procesos celulares, vii) sus implicaciones en la salud y en la enfermedad, y viii) las aplicaciones de este conocimiento (Birben *et al.*, 2012; Said *et al.*, 2014; Saito *et al.*, 2019; Bahri *et al.*, 2019; Gamidov *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019a).

Se tienen evidencias sobre la necesaria y eficiente actividad oxidante de los radicales libres en procesos de diferenciación celular, desarrollo, transducción de señales, apoptosis y defensa, lo cual mantiene funciones básicas del organismo en el medio aerobio (Nelson y Cox, 2000; Christodoulou *et al.*, 2019). Paralelamente, se discute la relación entre el estado redox en los tejidos vivos con el alumbramiento, envejecimiento, alimentación, relaciones ambientales y el deporte (Birben *et al.*, 2012; Cortina y Arizmendi, 2012; Puntarulo y Gelpi, 2015; Powers *et al.*, 2016). Se han identificado grupos de componentes endógenos con función antioxidante y se ha configurado un menú de metabolitos secundarios con dicha actividad, los cuales están presentes principalmente en vegetales (Birben *et al.*, 2012; Saeidnia y Abdollahi 2013; Pisoschi y Pop 2015; Bahri *et al.*, 2019). De manera predominante se ha desarrollado investigación sobre patologías relacionadas con el EO, así como en aplicaciones terapéuticas para atender dichas

disfunciones (Nabavi *et al.*, 2019; Cardoso *et al.*, 2019; Olsvik *et al.*, 2019). Los avances en el diseño de fármacos y su elaboración por síntesis orgánica han contribuido en la producción de compuestos con actividad reguladora del EO (Saito *et al.*, 2019; Gvozdjakova *et al.*, 2019; Djuric *et al.*, 2019; Cardoso *et al.*, 2019; Cai *et al.*, 2019). Estos enfoques favorecen la vinculación interdisciplinaria de las ciencias de la salud con las ciencias ómicas, ambientales y humanísticas.

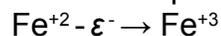
Con esta orientación, el presente trabajo analiza la relación entre el EO y el metabolismo celular y, en consecuencia, se exploran acciones promotoras de la salud.

Los fenómenos óxido-reductores

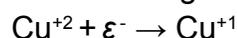
Los organismos vivos son sistemas abiertos que funcionan mediante flujos de energía y materia. Estas corrientes energéticas y materiales son condición obligada que permite a los seres vivos realizar sus múltiples y complejas funciones. Debido a que los electrones participan de manera activa e irremplazable en las reacciones y transformaciones químicas, es importante reconocer su capacidad de transferencia entre los átomos, los procesos en que están implicados y su significado en las respuestas biológicas (Nelson y Cox, 2000).

Cuando un átomo pierde un electrón de sus orbitales externos, se dice que se oxida y el ion resultante adquiere carga positiva neta; de manera inversa, cuando un átomo acepta un electrón en sus orbitales externos se reduce al adquirir carga negativa neta. Estos dos fenómenos son simultáneos: cuando un átomo se oxida, otro se reduce.

Oxidación: pérdida de electrones. Por ejemplo:

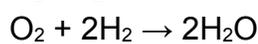
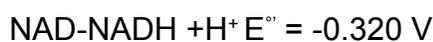


Reducción: ganancia de electrones. Por ejemplo:



A la capacidad que tiene un átomo de dar electrones se le llama “potencial de óxido-reducción” y se representa como E° . Se mide en voltios (V) y mientras el valor sea más negativo, indica mayor capacidad de donar electrones. Dado que no puede existir un fenómeno de oxidación sin la contraparte de una reducción, generalmente se describe mediante el par de entidades moleculares en las cuales se da el intercambio de elec-

trones y se muestra el valor del potencial correspondiente. Por ejemplo, el NADH tiene alta capacidad de donar electrones manifiesto en su valor de $E^{\circ} = -0.320$ V. Cuando dona electrones, la molécula original queda oxidada; es decir como NAD^+ . En el caso del agua se observa un potencial $E^{\circ} = +0.813$ V altamente positivo, lo cual indica que no tiene capacidad termodinámica para dar electrones. La formación del agua se da por reducción del oxígeno (Nelson y Cox, 2000).



El valor del cambio de potencial de óxido-reducción ΔE° permite conocer el cambio en la energía libre estándar de Gibbs ΔG° mediante la ecuación siguiente:

$$\Delta G^{\circ} = -nf\Delta E^{\circ}$$

n : número de electrones transferidos

f : Constante de Faraday: 96,480 J/V.mol

$\Delta E^{\circ} = E^{\circ}$ aceptor de electrones - E° donador de electrones

El trabajo de transferencia de electrones de un átomo a otro muestra si la reacción es espontánea termodinámicamente, y en qué proporción es exergónica o endergónica.

Los fenómenos de oxidación y reducción se realizan en los átomos. El átomo de oxígeno manifiesta alta electronegatividad, lo cual significa alta capacidad para atraer electrones en sus orbitales externos p_x y p_y . Los metales de transición como el hierro, cobre, cromo, manganeso, níquel y cobalto tienen electrones desapareados, y elementos como azufre, selenio, molibdeno y otros son sensibles a modificar su estado de oxidación. Las moléculas reactivas electrofílicas tienen gran tendencia a actuar sobre moléculas nucleofílicas. Dichos elementos que sufren oxidaciones y/o reducciones son constitutivos de proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos, biomoléculas que se ven modificadas por cualidades de carga y por transformaciones estructurales que significan cambios funcionales (Nelson y Cox, 2000).

La relación entre los fenómenos de oxidación y reducción en un medio celular particular genera un estado que se llama “Estado o Condición Redox”. Se puede mostrar que la condición óxido-reductora es una coordenada que interviene en el metabolismo celular, y los organelos de elevada sensibilidad al estado redox son las mitocondrias, cloroplastos, peroxisomas, retículo endoplásmico y membranas, ya sea la plasmática como la nuclear.

La relación entre sustancias oxidantes y reductoras que se inicia en una condición energética-molecular, se manifiesta en una función celular y ésta incide en la unidad de un organismo, ya sea bacteria, vegetal o animal (Nelson y Cox, 2000). Procesos celulares de respiración aeróbica, defensa, proliferación, viabilidad, reacciones con adrenalina, dopamina y citocromos se llevan a cabo mediante una capacidad oxidante necesaria que se regula por sistemas endógenos. Cuando esa regulación no se expresa o es insuficiente, el estado oxidante se mantiene. La intensa actividad metabólica de órganos como el cerebro, hígado, pulmón, riñón, gónadas, tanto masculinas como femeninas, y el ojo, los hace muy sensibles a la desregulación. Dicho desbalance crónico se hace evidente en patologías genéticas, cardiovasculares, desórdenes neurológicos, inmunológicos, endocrinos y metabólicos; por ejemplo, leucemia, embolia cerebral, isquemia, Alzheimer, lupus eritromatoso, aterosclerosis, esclerosis múltiple, alcoholismo, esterilidad, diabetes, fibrosis pulmonar y asma, entre otras (Nelson y Cox, 2000; Hernández y McCord, 2007; Cardoso *et al.*, 2019; Christodoulou *et al.*, 2019).

Sistemas Oxidantes

Hay diversos agentes oxidantes, entre los más importantes están los radicales libres. Se considera un radical a una especie química que tiene uno o varios electrones desapareados en su orbital externo. Tienen alta tendencia a donar su electrón desapareado o admitir otro electrón, de modo que si este átomo se reduce, forma otro radical. La configuración electrónica adquirida por el radical le confiere condiciones de inestabilidad, alta reactividad por la tendencia a satisfacer una organización estable y una vida media corta. Sólo al encontrarse dos radicales libres se detiene el proceso.

Los agentes oxidantes más importantes en el ambiente biológico son las especies reactivas de oxígeno (EROs) o de nitrógeno (ERNs). Se generan en respiración aerobia, fagocitosis y en la actividad física. En cantidades bajas son señales de procesos de expresión de genes, diferenciación, proliferación, transducción y apoptosis (Nelson y Cox, 2000).

Hay agentes oxidantes radicales y otros compuestos que no lo son. Los de mayor importancia son los siguientes:

Radical superóxido $O_2^{\cdot-}$

Radical hidroxilo $\cdot OH$

Radical peroxilo $ROO\cdot$

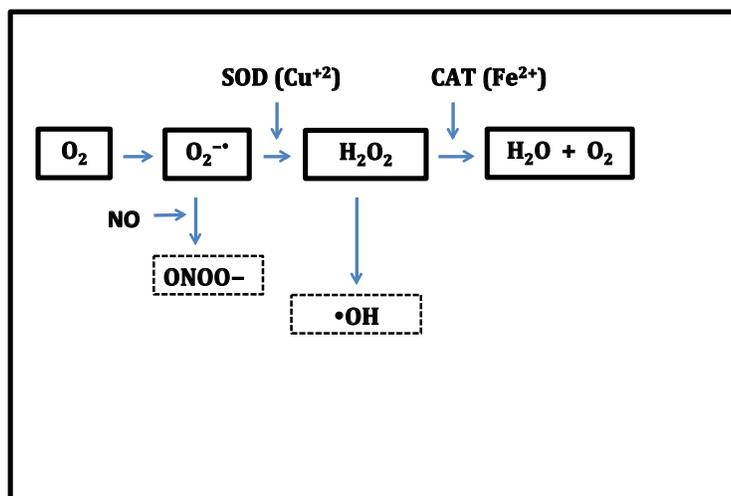
Radical hidroperoxilo $HOO\cdot$

Peróxido de hidrógeno H_2O_2

Ácido hipocloroso $HOCl$

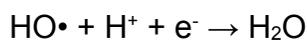
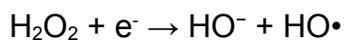
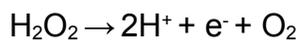
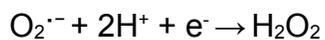
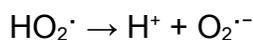
Las EROs tienen alta capacidad para transformarse en otros radicales y actuar sobre moléculas de naturaleza nucleofílica. La figura 1 pone de manifiesto que el oxígeno molecular es capaz de incorporar un electrón y generar el radical superóxido $O_2^{\cdot-}$. El superóxido puede generar el radical oxinitrito $ONOO\cdot$ al reaccionar con el NO. La acción de la superóxido dismutasa (SOD), dependiente de Cu^{2+} sobre el radical $O_2^{\cdot-}$ forma peróxido de hidrógeno H_2O_2 . A su vez, éste es capaz de producir el radical hidroxilo $\cdot OH$ de alta reactividad. El peróxido de hidrógeno por la acción de la catalasa dependiente de Fe^{2+} forma agua y libera oxígeno. Esta secuencia de oxidaciones sucesivas genera tres oxidantes: el oxígeno molecular acepta un electrón y forma el ion superóxido; éste acepta otro electrón y forma el peróxido de hidrógeno; un tercer electrón aceptado por el H_2O_2 forma el ion hidroxilo (Henle y Linn, 1997; Hernández y McCord, 2007).

Figura 1. Formación de cuatro especies reactivas de oxígeno por oxidaciones sucesivas



Fuente: Said *et al.*, 2014; Hatem y Azzi, 2016.

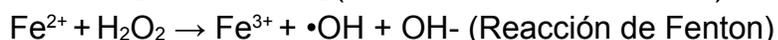
Se describen las siguientes reacciones en la formación de EROs:



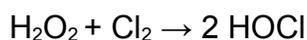
- El hidroperoxilo HO_2^{\cdot} es más fuerte que el superóxido, pero menos estable a pH 7.4
- El hidroperoxilo en su pKa de 4,80 se disocia y forma el superóxido.
- El radical superóxido puede dismutar y formar peróxido de hidrógeno.
- El peróxido de hidrógeno se reduce y forma radical hidroxilo y anión hidroxilo.
- Al reducirse el radical hidroxilo forma agua.

Radical superóxido. El $O_2^{\cdot-}$ se forma entre 1-3% en la fosforilación oxidativa, proceso mitocondrial de apropiación de energía en los organismos eucariotes. Dicha producción es favorecida por la actividad enzimática de la NAD/NADH oxidasa. También es un producto en la función bactericida de leucocitos polimorfonucleares, monocitos y macrófagos y de las actividades de la xantina oxidasa, la lipooxigenasa y la familia de las P450 monooxigenasas. El $O_2^{\cdot-}$ es altamente reactivo, ataca centros cargados positivamente y puede reaccionar con donadores de hidrógeno como ascorbato y tocoferol. Cuando dismuta forma peróxido de hidrógeno (Nelson y Cox, 2000). Los autores Hatem y Azzi (2016) midieron la concentración del radical superóxido en individuos de 60 kg de peso corporal y dieron datos entre 160 y 320 mmoles, mientras que si el peso de los individuos aumentaba a 80 kg, la concentración se incrementaba de 215 a 420 mmoles.

Peróxido de hidrógeno. El H_2O_2 se forma por acción catalítica de la xantina oxidasa, la aminoácido oxidasa, la NAD(P) oxidasa y por las monooxigenasas en los peroxisomas. Es muy importante la acción del peróxido de hidrógeno sobre el ion ferroso. La reacción consiste en oxidar al Fe^{2+} para dar el ion férrico Fe^{3+} , el radical hidroxilo $\cdot OH$ y el anión hidroxilo OH^- . Esta respuesta conocida como reacción de Fenton tiene el antecedente en la reacción de H-W donde el ion férrico es reducido por el superóxido con la producción de oxígeno molecular (Henle y Linn, 1997).



A su vez, el superóxido con el peróxido de hidrógeno dan lugar al anión hidroxilo, OH^- . El peróxido de hidrógeno se difunde por las membranas y es un fuerte oxidante de los lípidos que la integran, también ataca grupos hemo de proteínas y actúa tanto sobre ceoácidos como sobre grupos tiol-SH. La acción oxidante del H_2O_2 sobre el cloro es capaz de formar ácido hipocloroso (Henle y Linn, 1997).



Radical hidroxilo. El $\bullet\text{OH}$ es el más energético de los radicales que puede interaccionar con sustancias tanto orgánicas como inorgánicas. Tiene alta capacidad para reaccionar con el anión hidroxilo en la reacción de Fenton. Manifiesta una alta reactividad con un valor de $E^\circ = 2.8 \text{ V}$, es más oxidante que el cloro, el oxígeno y el peróxido de hidrógeno. Tiene una vida media de $1 \mu\text{s}$ y reacciona con alta velocidad. Su concentración en mitocondria es de $1 \times 10^{-16} \text{ M}$. Se forma por descomposición del peroxinitrito $\text{ONOO}\bullet$. Su acción involucra abstracción de hidrógeno, adición y transferencia de electrones. Peroxida lípidos, transforma al aminoácido fenilalanina en orto o m-tirosina y ataca bases de los ácidos nucleicos. Genera daños al reaccionar con metales que no están en estructuras acomplejadas: con el hierro desarrolla hemocromatosis, con el cobre la enfermedad de Wilson y con el manganeso el manganesismo (Zentella y Saldaña, 2000).

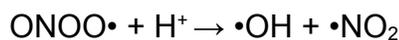
Radicales hidroperoxilo y peroxilo. Los radicales $\text{HOO}\bullet$ y $\text{ROO}\bullet$ producen peroxidación de lípidos al eliminar un hidrógeno del grupo metileno $-\text{CH}_2-$ de la cadena. De esta manera, el radical lipídico con el oxígeno forman radical peróxido en una reacción en cadena, aumentando la peroxidación a lo largo de la estructura carbonada. Los ácidos grasos poliinsaturados dan hidroperoxilos, los cuales son inestables y forman aldehídos como malondialdehído MDA y 4-hidroxi-2,3-nonenal. Los desarreglos en las estructuras de membrana modifican su composición y organización. La relación estructura-función de la membrana se manifiesta en su permeabilidad selectiva, la cual es un requerimiento esencial en los procesos de transporte, reconocimiento y transducciones energéticas, ya que demandan una vectorialidad específica y se ven perturbados al modificarse su naturaleza. Con estas modificaciones se altera la afinidad por factores de adhesión, señalización celular y eventos de fusión (Nelson y Cox, 2000).

Ácido hipocloroso. La interacción del HOCl sobre el DNA es responsable de modificar enzimas que tienen acción directa sobre la síntesis de proteínas, oxida lípidos, cetoácidos y tioles. Es conocida la acción del cloro sobre las bases pirimídicas timina y citosina.

Las especies reactivas de oxígeno generadas en el metabolismo normal existen en concentraciones de $1 \times 10^{-9} \text{ M}$ a $1 \times 10^{-4} \text{ M}$. No viajan lejos de su sitio de producción porque su vida media es del orden de microsegundos (Zentella y Saldaña, 2000), o aún menores. Por su parte, los sistemas reguladores celulares muestran relaciones estrictas con los radicales en sus concentraciones, comportamientos y tiempos de acción. Cuando se sobrepasan los umbrales regulatorios permanece el estado oxidante.

Especies reactivas de nitrógeno ERNs. Entre los radicales nitrogenados o especies reactivas de nitrógeno está el NO• involucrado en la vasodilatación y la neurotransmisión, facilita la excitabilidad neuronal, la transmisión sináptica y regula la respiración mitocondrial al inhibir a la citocromo oxidasa. Se produce por el sistema inmune en la fagocitosis. Se ha calculado la concentración de NO en corazón de rata sana en 2.19 ± 0.1 nmoles/min. mg de proteína. Dicha concentración está dada por los estados metabólicos y el potencial de membrana mitocondrial, la presión parcial del oxígeno en el aire inspirado, la regulación autónoma del simpático, la insulina y la angiotensina. A su vez, Puntarulo y Gelpi (2015) mostraron que modificaciones en el metabolismo energético pueden preceder a la manifestación de cardiopatías y que la hiperglucemia puede disparar un aumento en la biogénesis mitocondrial con mayor producción de NO.

El NO reacciona con el superóxido para dar peroxinitrito ONOO• y al descomponerse el peroxinitrito forma radical hidroxilo:



Su forma protonada HONOO• es muy activa; rompe hebras de DNA, oxida proteínas, se une directamente a la hemoglobina, hace nitración en grupos aromáticos de proteínas, genera reacción de nitrosilación y con los grupos tiol -SH da S-nitrosotioles (Birben *et al.*, 2012).

Fuentes oxidantes exógenas

El EO se considera un mecanismo de toxicidad y es consecuencia tanto de condiciones endógenas de hiperoxia, como de condiciones exógenas dadas por la presencia excesiva de etanol, ozono, humo de tabaco, metales pesados, plaguicidas y radiaciones ionizantes.

Hiperoxia. Se induce la presencia de EROs y ERNs cuando en el pulmón se presentan niveles superiores a la presión normal de oxígeno (Saeidnia y Abdollahi, 2013). En el momento del nacimiento la presión parcial del oxígeno aumenta unas tres veces en relación con la condición fetal y alcanza 80-90 mm Hg, lo cual genera un estado de estrés oxidativo que favorece la adaptación posnatal normal. Si se superan estos parámetros hay riesgos que los radicales libres ocasionen daños como la retinopatía (Cortina y Ariz-

mendi, 2012). En la condición inversa de hipoxia se disminuye la capacidad mitocondrial, aumentan los EROs y se altera la homeostasis del calcio (Puntarulo y Golpi, 2015).

Emisiones A del espectro UV que corresponden a una longitud de onda entre 300 y 400 nm manifiestan formación de oxígeno singulete 1O_2 , inestabilidad genómica y radiólisis. Con oxígeno forman $OH\cdot$, $O_2\cdot^-$ y radicales orgánicos. Éstos con Cu y Fe por Reacción de Fenton producen EO. Excitan fotosensibilizadores, forman oxo-8 guanina en el DNA, tienen acción oxidante sobre el glutatión y el NADH. Las radiaciones ionizantes alfa activan expresión de genes específicos y generan daño en los sistemas de quinasas ERK1/2 y JNK, así como en los factores de transcripción p53, p38, AP-1 y NF- κ B.

Arjmandi *et al.* (2018) han analizado la actividad oxidante sobre el ojo y la piel con las emisiones por diodos (LEDs), que corresponden a longitudes de onda entre 400 y 490 nm en la zona azul del espectro visible. Con la sobreexposición a la luz emitida sobre el tejido dérmico y del ojo se presenta producción de EROs, apoptosis, necrosis, envejecimiento de la piel y daños oculares. El manejo de aparatos electrónicos, aun por periodos cortos, o las fotografías directas “*selfies*” significan serias exposiciones con daños importantes. Las exposiciones luminosas a tiempos largos aun no son suficientemente estudiadas, sin embargo, probabilísticamente tendrían daños adicionales.

Etanol. Tiene una capacidad pro-oxidante elevada. La hiperestimulación de su metabolismo se realiza principalmente en el sistema microsomal oxidativo (SMOE) del hepatocito, con la formación de superóxido, hidroxilo y peróxido de hidrógeno. Sus efectos son oxidación de proteínas, DNA y peroxidación de lípidos. Nakashima *et al.* (2019) asociaron la disfunción cardiaca por exceso de etanol con el aumento del receptor del factor de necrosis tumoral TNFR1, de NF κ B y p65 que fueron detectados en el ventrículo izquierdo. Además de las respuestas fisiológicas dieron información sobre el aumento de factor de necrosis tumoral (TNF- α), interleucina (IL)-6, radical superóxido ($O_2\cdot^-$), ácido tiobarbitúrico, sustancias reactivas (TBARS) y nitrotirosina.

Ozono. En las exposiciones a ozono se presenta la peroxidación y la activación de macrófagos con el fenómeno de inflamación. En exposiciones cortas se liberan especies de deshidrogenasa láctica xLDH y de albúmina. La materia particulada reduce el oxígeno. Los radicales $\cdot OH$ y el peróxido de hidrógeno son responsables de los efectos inflamatorios en el pulmón por exposiciones de 0.08 ppm del oxidante durante 6.6 horas; en tanto que si la exposición es de 0.4 ppm durante dos horas, los efectos son agudos. Cuando el ozono se pone en contacto con el cloro forma hipoclorito y por combinaciones sucesivas forma el radical $\cdot OH$ (Said *et al.*, 2014).

Humo de tabaco. Provoca la formación de radicales superóxido, oxígeno singulete, hidroxilo, óxido nítrico, peroxitrito y peróxido de hidrógeno. Estas acciones peroxidan lípidos, modifican bases y rompen hebras de DNA. Asimismo inducen activación de neutrófilos y macrófagos, que son agentes de necrosis y apoptosis (Said *et al.*, 2014).

Metales. Hierro, cobre, cadmio, mercurio y níquel pueden inducir la generación de radicales libres y causar daño celular al disminuir o eliminar actividades enzimáticas, peroxidación de lípidos y alteraciones sobre proteínas y DNA. El EO también es generado por la oxidación de iones metálicos que participan como cofactores en determinadas reacciones. Fe^{2+} , Cu^{2+} y Ni^{2+} , y tienen efecto en cambiar las bases G/C, G/T y C/T en el DNA. La capacidad oxidante del plomo es elevada; reemplaza al Zn e inactiva enzimas, decrece la actividad de la glutatión peroxidasa, de la SOD e inhibe a la glutatión S-transferasa (GST) por reaccionar con el grupo tiol. Produce peroxidación lipídica. El metaloide arsénico (III) inhibe enzimas antioxidantes de la GST, glutatión peroxidasa y glutatión reductasa. Produce radicales superóxido, oxígeno singulete, peroxilo, hidroxiperoxilo, peróxido de hidrógeno y óxido nítrico (Said *et al.*, 2014).

Plaguicidas. Paraquat, metil paratión, endosulfán, deltametrina, glifosato, clorpirifos, diazinón y 2,4-D, entre otros, expresan acciones oxidantes con la presencia de radicales superóxido, hidroxilo, peroxilo, hidroperoxilo y alcoxilo, así como el peróxido de hidrógeno (Dehn *et al.*, 2004; Prado *et al.*, 2009; Olsvik *et al.*, 2019).

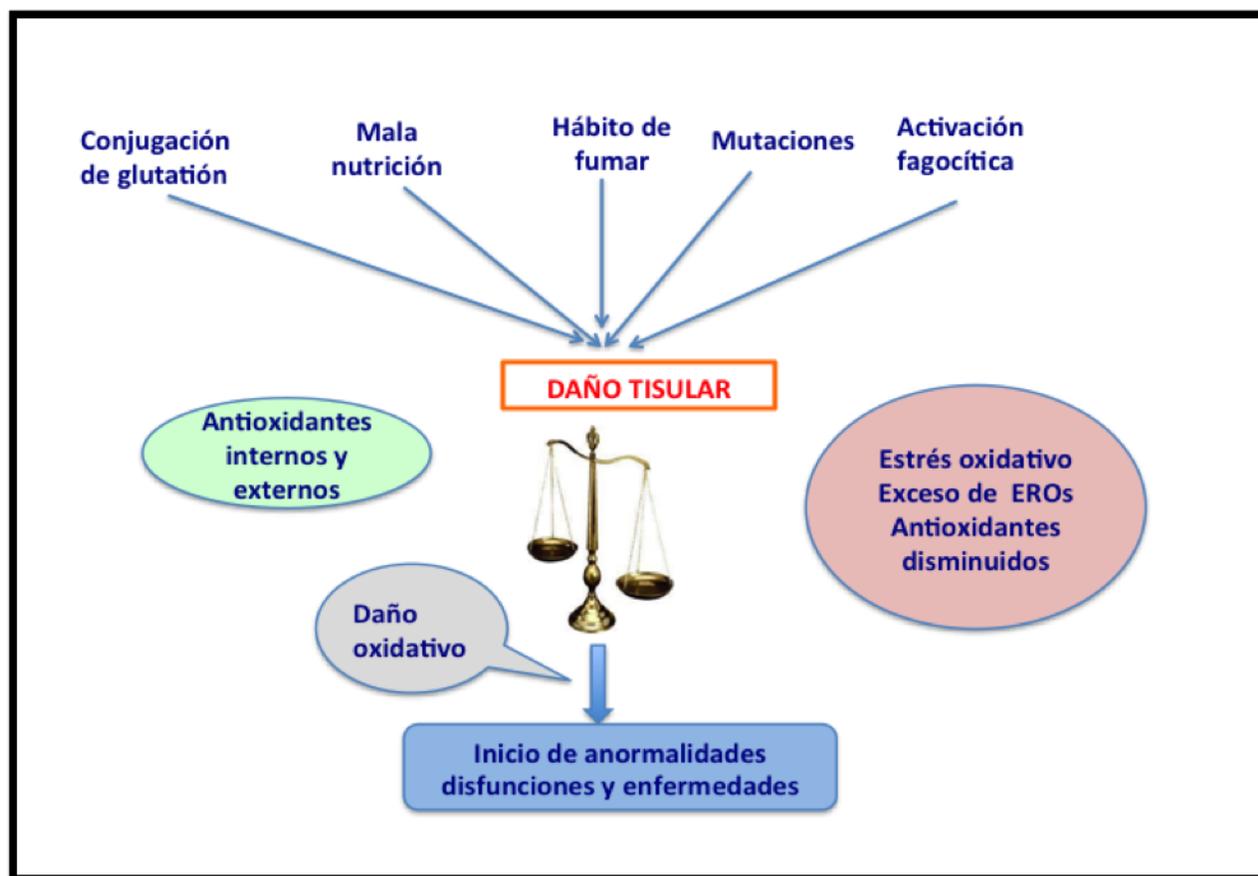
El plaguicida organofosforado malatión ha sido asociado con citotoxicidad y suspensión del ciclo celular. Se ven elevados los EROs, así como alteradas enzimas antioxidantes y el glutatión, daños que se manifiestan en disfunciones cerebrales. Shieh *et al.* (2019) valoraron el efecto antioxidante de la N-acetilcisteína y observaron una respuesta protectora frente a la toxicidad del malatión al revertir su acción oxidante y encontrar activas las ciclinas E1, A2, B1, las quinasas CDK1, CDK2, CDC2, las proteínas B-cl2, Bax y desagregadas las caspasas 3 y 9 implicadas en la apoptosis.

La Figura 2 ilustra agentes exógenos y endógenos que provocan un desequilibrio entre las especies reactivas y los reguladores que tienen los organismos. Una alimentación inadecuada, el hábito de fumar, funciones de defensa en fagocitosis, mutaciones y la conjugación del glutatión son causas directas de daño tisular. El EO se manifiesta con la presencia de radicales y/o disminución de los sistemas antioxidantes. Ese estado estacionario de desbalance es causa directa de anormalidades, disfunciones y enfermedades.

Sistemas antioxidantes

Los sistemas antioxidantes son compuestos que regulan el estado oxidante de la célula. Su naturaleza y mecanismos de acción son diversos. Los hay naturales y sintéticos, como también endógenos y exógenos. En atención al modo de operación, los hay hidrosolubles y liposolubles. De acuerdo con su función, son enzimáticos y no enzimáticos. Atendiendo a su mecanismo, se clasifican como primarios y secundarios, preventivos o reparadores (Pisoschi y Pop, 2015).

Figura 2. Agentes oxidantes y su vinculación con la salud



Fuente: Adaptado de Saeidnia y Abdollahi, 2013.

Entre las funciones de los sistemas antioxidantes están las actividades protectoras que realizan familias de enzimas y especies no enzimáticas, así como las que disminuyen la actividad oxidante. Se pueden citar las siguientes: i) evitan la ocurrencia de las especies reactivas; ii) bloquean o capturan las especies formadas; iii) reparan procesos de daño en el DNA, y iv) remueven las especies dañadas por mecanismos de degradación (Pisoschi y Pop, 2015).

Los antioxidantes primarios actúan rompiendo las cadenas oxidadas. También secuestran sistemas oxidantes por la donación de hidrógeno. Se llaman antioxidantes secundarios a los que secuestran oxígeno singulete, descomponen peróxidos, inhiben enzimas oxidativas, quelan metales o absorben radiaciones ultravioleta (Zentella y Saldaña, 2000).

De importancia fundamental son los antioxidantes endógenos. Entre ellos están las familias enzimáticas de las dismutasas, transferasas y la catalasa. Las proteínas ferritina, transferrina, ceruloplasmina y albúmina forman un grupo sin actividad catalítica, pero fuerte acción antioxidante. La lactoferrina en el hígado responde con una actividad antioxidante al EO originado por tetracloruro de carbono (Farid *et al.*, 2019). Las metalotioneínas secuestran metales pesados, mediante la p53 favorecen apoptosis en cáncer y atenúan anomalías del miocardio (Yang *et al.*, 2019). En menor cantidad actúan el ácido úrico, el ácido lipoico y la coenzima Q. Otras especies químicas también participan con una función antioxidante; entre ellas, están los ácidos benzoico, hidroxibenzoico, cinámico e hidroxicinámico, los flavonoides, las antocianilidas y otros compuestos de naturaleza variada como el resveratrol, licopeno, luteína, N-acetilcisteína y el elemento selenio.

Las enzimas secuestradoras de radicales tienen una función especialmente reguladora y defensiva del equilibrio redox. Ellas son las siguientes:

| | |
|-------------------------|------|
| Superóxido dismutasa | SOD |
| Glutación-S-transferasa | GST |
| Glutación peroxidasa | GTPx |
| Tiorredoxina | TRX |
| Peroxirredoxina | PRX |
| Catalasa | CAT |

Hay varias isoformas de la SOD. En la matriz mitocondrial se encuentra la especie dependiente de manganeso (Mn-SOD). En el citosol se halla la que secuestra EROs (Cu-Zn-SOD). La EC-SOD se localiza en la matriz extracelular y es abundante en los epitelios bronquiales. Tanto las SOD como las oxidadas tienen como producto de la reacción al H_2O_2 . Se llaman oxidadas a las enzimas que catalizan oxidaciones donde un átomo de carbono se une a un átomo de oxígeno, mientras que se llaman oxigenadas cuando el átomo de oxígeno proviene del oxígeno molecular. La acción de la dismutasa significa una acción oxidante y otra reductora sobre el sustrato, de modo que el superóxido se transforma en un compuesto menos energético que es el H_2O_2 (Henle y Linn, 1997).

Las GST (2.5.1.18) forman una familia de abundantes isoformas. Siete de ellas se localizan en estructuras microsomales, mitocondriales y citosólicas con intervención del glutatión. Actúan sobre el eicosanoico y sobre metabolitos secundarios de aldehídos insaturados, epóxidos e hidroperóxidos. En condiciones de estrés o no estrés, las GST se liberan o se unen selectivamente a las quininas. Liu *et al.* (2019) han publicado la estrategia de las GST en la acumulación de flavonoides, antocianinas y proantocianinas en cultivares de té.

La acción del glutatión es amplia. Mantiene los grupos sulfhidrilo de las proteínas en su forma reducida, y al hierro del grupo hemo en su forma ferrosa Fe^{2+} . En condiciones aeróbicas elimina los peróxidos tóxicos del metabolismo, especialmente en etapas de crecimiento. Cortina y Arizmendi (2012) muestran que a partir de la semana 33 de la gestación en humanos, se alcanza su máxima concentración en sangre.

De la glutatión peroxidasa GTPx hay 4 tipos: la GSH-PX1 es citosólica, la GSH-PX2 se localiza en el epitelio gástrico, la GSH-Px3 es extracelular y la otra se localiza en el epidídimo. La glutatión peroxidasa GSH-PX contiene selenocisteína. Las GTPx protegen de los hidroperóxidos formados y realizan la reducción del peróxido de hidrógeno por medio del glutatión (GSH) para formar agua. La forma oxidada del glutatión (GSSG) contiene dos moléculas de glutatión unidas por un enlace disulfuro. Esta reacción elimina al peróxido de hidrógeno del medio (Hattem y Azzi, 2016).



La tiorredoxina posee pares de grupos $-SH$ y transporta hidrógenos. La forma oxidada de la tiorredoxina se reduce con NADH y es catalizada por la tiorredoxina reductasa. Una segunda fuente de reducción es el glutatión. El glutatión actúa como reductor por

medio de otra proteína denominada glutarredoxina (Hattem y Azzi, 2016). La isoforma de tiorredoxina 1 participa como agente protector en infarto de miocardio, cuando se dan cambios en la galectina 3, distrofina y espectrina (Puntarulo y Gelpi, 2015).

Las peroxirredoxinas PRX controlan niveles de peróxido inducido por citoquinas y median señales de transducción. Contienen cisteína en su sitio activo, el cual se oxida por la actividad catalítica y se vuelve a reducir por glutatión o por ácido ascórbico. Estas enzimas se regulan por fosforilación o por la formación de determinados oligómeros. La PRX6 es de especial importancia en el pulmón, la cual protege los epitelios alveolar y bronquial (Hattem y Azzi, 2016).

La catalasa CAT (1.11.1.6) forma agua a partir del peróxido de hidrógeno. Puede actuar como una peroxidasa, especialmente con el etanol, con la donación de hidrógeno (Puntarulo y Gelpi, 2015). Su presencia es ubicua en las células, con predominio en eritrocito y en tejido hepático (Hattem y Azzi, 2016).

El mantenimiento del equilibrio redox también opera con moléculas que no tienen actividad enzimática y responden como agentes endógenos de defensa. Pisoschi y Pop (2015) han descrito los siguientes compuestos: proteínas unidas a metales, las cuales secuestran metales de transición. La ceruplasmina remueve ion ferroso y reduce al O_2 para formar agua; tanto ferritina como transferrina secuestran al hierro. Por la compartamentalización del hierro libre, se disminuye la reacción de Fenton sobre el DNA, la formación del superóxido y se impide que el hierro se una al DNA por medio de las histonas (Henle y Linn, 1997). La melatonina es un excelente protector del EO proveniente de la mitocondria, secuestra $OH\bullet$, superóxido y $NO\bullet$. La bilirrubina evita la peroxidación de las membranas lipídicas; su concentración es baja frente al glutatión pero es alta su efectividad. La coenzima Q reducida protege membranas y proteínas plasmáticas, atrapa radicales peroxilo y regenera el α -tocoferol. El ácido α -lipoico es capaz de secuestrar especies de O y N al mejorar la reactividad de los grupos tioles. El ácido úrico actúa como secuestrador de radicales peroxilo, hidroxilo y oxígeno singulete; se le considera un protector de membrana en los eritrocitos.

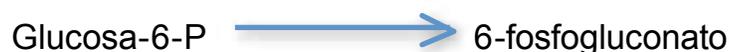
El selenio orgánico endógeno es cofactor de la glutatión peroxidasa, de la tiorredoxina reductasa y de algunas flavoenzimas. Kieliszek (2019) ha demostrado su actividad al secuestrar radicales y ha valorado que su deficiencia es un factor de riesgo en cáncer. En la dieta son más efectivas las formas orgánicas de selenometionina y selenocisteína que las inorgánicas de selenitos y seleniatos. De gran importancia son las vitaminas con eficiente actividad antioxidante. En el medio citosólico participa la vitamina C, mientras que la vitamina E es activa en la estructura membranal. El glutatión no es una vitamina sino un tripéptido y tiene un alto poder reductor (Cuadro 1).

La presencia de los carotenos, licopeno y fitoeno en el jugo de naranja de *Citrus sinensis* (L.) Osbeck ha sido motivo de estudio de Oliveira *et al.* (2019), quienes han encontrado que este conjunto de antioxidantes protege, frente a la toxicidad oxidativa, de los compuestos β -amiloides y favorece positivamente la expresión de genes de *gcs-1*, *gst-4*, *sod-3* y la chaperona *hsp-16.2*. Los autores explican estas funciones antioxidantes mediante el mecanismo secuestrador de radicales libres. La toxicidad crónica por el etanol con efecto negativo sobre la SOD, catalasa, glutatión peroxidasa y presencia de malondialdehído en eritrocito de rata fue tratada con las vitaminas C y E, solas y combinadas. La acción sinérgica de las vitaminas restituyó el balance óxido-reductor al disminuir la peroxidación y la actividad oxidante que secuestraba las enzimas (Hasanein *et al.*, 2019).

El ojo, y en especial la retina, son sensibles al EO, ya que los tejidos expuestos a la luz contienen retinoides, los cuales generan radicales por la fotoexcitación. Los retinoides semi-oxidados pueden oxidar aminoácidos o las mismas proteínas. Por otro lado, los tocoferoles son capaces de secuestrar dichos radicales con la protección de tejidos tan sensibles como los ya mencionados. Rozanowska *et al.* (2019) midieron la capacidad de la familia de tocoferoles en el secuestro de los radicales del retinoico, retinal y retinol. Mediante la medición del decaimiento en la formación de los radicales, los cuales oscilaron de 0.08 a $1.6 \cdot 10^8 \text{ M}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ hasta 7 a $8 \cdot 10^9 \text{ M}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, dieron cuenta del mecanismo de acción de estas vitaminas. Fundamentaron y concluyeron que los tocoferoles protegen a las proteínas de la oxidación mediante el mecanismo de secuestro de los radicales.

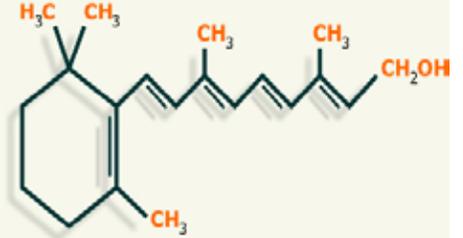
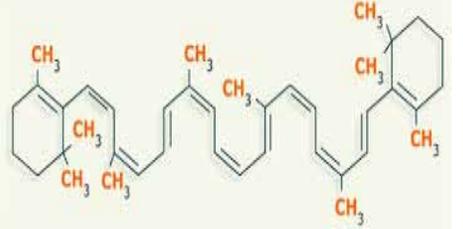
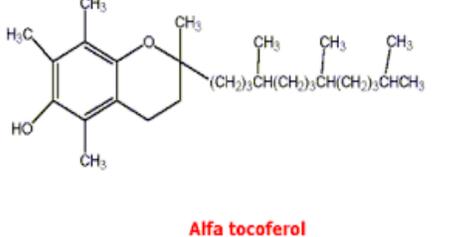
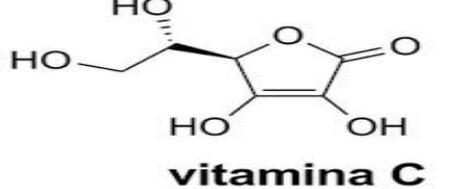
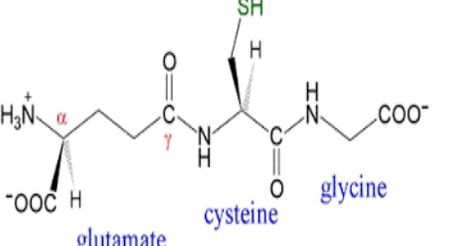
Los polifenoles son moléculas con capacidad antioxidante. Un grupo de ellos son las antocianinas y otro lo forman los flavonoides. Entre los últimos están las flavonas, flavononas e isoflavonas, los flavones y los flavonoles. La naturaleza nucleofílica de los grupos tiol $-\text{SH}$ que participa activamente en la homeostasis redox ha sido un motivo de su búsqueda en plantas. Los estudios de Betancur y Mosquera (2017) refieren especies de las familias de las Asteráceas y de las Piperáceas con alto potencial antioxidante.

Una molécula de elevado poder reductor es la coenzima reducida del NADPH, fosfato del dinucleótido de nicotinamida y adenina, el cual se origina en la vía de las pentosas por la glucosa 6-P deshidrogenasa dependiente de NADP, mediante la reacción que se muestra en la ruta metabólica correspondiente de la figura 3.



La estequiometría de la reacción muestra una relación directa entre el NADPH con el glutatión: 2 GSH/GSSG. Como se ha analizado, a partir del glutatión se realizan numerosas reacciones de reducción.

Cuadro 1. Acción antioxidante de compuestos vitamínicos y del glutatión

| | | |
|-------------------|---|---|
| <p>Vitamina A</p> | <p>Muestra efectos antiproliferativos. Actúa en diferentes tipos de células mediante receptores. En el carcinoma mamario arresta el ciclo celular mediante apoptosis.</p> |  |
| <p>β-Caroteno</p> | <p>Reacciona con ROO•, OH• y O₂⁻. Junto con ácido retinoico regula factores de transcripción. Tiene efecto antioxidante a bajas presiones de O₂.</p> |  |
| <p>Vitamina E</p> | <p>El α-tocoferol es activo en la protección de membranas y requiere zinc. Dona electrones a radicales peroxilo producidos en la lipoperoxidación. En células cancerosas dispara la apoptosis.</p> |  <p style="text-align: center;">Alfa tocoferol</p> |
| <p>Vitamina C</p> | <p>Soluble en matriz extracelular. Secuestra radicales de oxígeno. Reduce a los radicales de la Vit E.</p> |  <p style="text-align: center;">vitamina C</p> |
| <p>Glutatión</p> | <p>Antioxidante soluble en concentraciones entre 5-10 mM. Destoxifica el H₂O₂ y lipoperóxidos. Convierte a las Vit C y E a sus formas activas. Regula y activa factores de transcripción.</p> |  <p style="text-align: center;">glutamate cysteine glycine</p> |

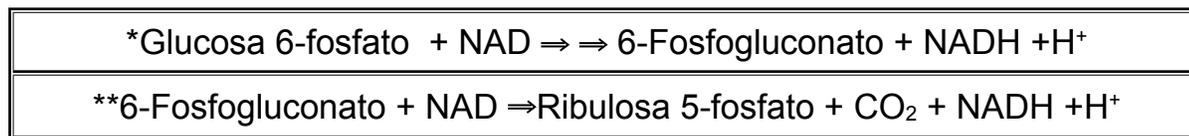
Fuentes: Nelson y Cox, 2000; Zentella y Saldaña, 2000; Bahri *et al.*, 2019.

En términos generales, las reducciones se realizan de diferentes maneras: i) por transferencia directa de electrones (ϵ^-); ii) por donación de un átomo de hidrógeno ($H^+ + \epsilon^-$); iii) por transferencia de un hidruro ($:H^-$). Cuando se calcula la energía libre estándar $\Delta G^{\circ'}$ en el transporte electrónico en el proceso de la fosforilación oxidativa desde el NADH hasta el oxígeno, se obtiene un valor de -220 kJ/mol , valor que fundamenta su fuerte capacidad de donar electrones (Nelson y Cox, 2000).



En los procesos antioxidantes se distinguen tres etapas llamadas: iniciación, propagación y terminación. La primera es promovida por factores externos; la propagación se caracteriza por ser lenta y por la adición de un oxígeno a centros carbonados; la última etapa registra una acción sinérgica entre antioxidantes primarios y secundarios (Pisoschi y Pop, 2015).

Figura 3. Producción de poder reductor en la Ruta de las pentosas.



*[Requiere de la enzima Glucosa 6-fosfato deshidrogenasa dependiente de NAD y Mg^{++} . Los productos de la reacción son 6-Fosfo-glucono-d-lactona + NADH + H^+]. La 6-Fosfo-glucono-d-lactona se rearregla para formar 6-Fosfogluconato.

El NADH + H^+ por medio de la enzima Glutación reductasa transforma al GSSG oxidado en glutación reducido 2 GSH.

**[Requiere de la enzima 6-Fosfogluconato deshidrogenasa dependiente de NAD y Mg^{++} . Los productos de la reacción son D-Ribulosa 5-fosfato, $CO_2 + NADH + H^+$]. Por procesos de biosíntesis reductora se generan ácidos grasos y esteroides a partir de sus precursores.

Fuente: Nelson y Cox 2000.

Efectos del Estrés Oxidativo

El EO tiene efectos de naturaleza genética, bioquímica y fisiológica manifiestos sobre ácidos nucleicos, proteínas y lípidos. Las moléculas relacionadas con la información genética son especialmente afectadas en su estructura y en sus funciones.

- Las reacciones entre los centros Fe-S con el radical superóxido forman peróxido de hidrógeno y al ion ferroso. No solamente hay daño por la difusibilidad del peróxido de hidrógeno, sino por la reacción de Fenton y por la formación del ion superóxido (Henle y Linn, 1997).
- Los iones de metales activos o los hidroxil-radicales causan inestabilidad en la estructura de regiones de microsátélites del DNA. Las secuencias ricas en CG son especialmente sensibles a estos ataques (Birben *et al.*, 2012).
- Las radiaciones ionizantes rompen una o las dos hebras del DNA, lo cual puede disminuir la sobrevivencia celular.
- Tanto el humo de tabaco como el cadmio, hierro, arsénico y cromo atacan grupos -SH al generar EROs.
- Se presenta modificación o degradación de purinas y pirimidinas; una de ellas es la formación de 8-OH-G. Al estar oxidada esta guanina puede cambiar secuencias en genes de factores de transcripción AP-1 y Sp-1, y con ellos modificar respuestas de diferenciación, remodelación de la cromatina y apoptosis. La figura 4 de Birben *et al.* (2012) ilustra las modificaciones que se generan por el EO en las bases estructurales de los ácidos nucleicos.
- Los cambios en la metilación del DNA pueden desorganizar la cromatina. Cuando esta metilación se realiza en islas CpG puede significar silenciamiento de genes, factores de transcripción y/o las correspondientes proteínas. Los patrones de metilación aberrantes pueden inducir ataques que no permiten la reparación del DNA. Los estudios de Krauze *et al.* (2019) refieren cómo una metilación selectiva del DNA se vincula con disfunciones en el crecimiento fetal en cerdos.
- La oxidación de 5-metil citosina a 5-hidroximetil uracilo puede ocurrir por desaminación oxidativa de derivados de la citosina.
- Pueden activarse factores de transcripción sensibles al estrés y producir citoquinas pro y/o anti-inflamatorias.
- Las modificaciones en el DNA representan mutaciones, deleciones, translocaciones en las cadenas del material genético e interacciones con proteínas. Una alteración puede darse en la unión de proteínas a la caja TATA.

- Se presenta sobre-expresión de oncogenes que puede llegar hasta cáncer.
- Presentan acción sobre genes relacionados con enfermedades cardiovasculares como TNF- α y promueven la actividad aterogénica (Birben *et al.*, 2012).
- Tienen efecto sobre genes relacionados con procesos neurodegenerativos como en la enfermedad de Alzheimer en el cromosoma 17q.21.31, que se manifiesta en mayor formación de la placa senil (Butterfield, 2014).
- Manifiestan acciones sobre genes relacionados con enfermedades metabólicas como diabetes y trastornos renales.

Los EROs pueden inducir cambios en genes involucrados en transducción de señales. Birben *et al.*, (2012) han analizado las siguientes:

- Disrupción de la relación GSH/GSSG que afecta señales y se manifiesta como respuesta inflamatoria.
- Tienen efecto sobre NF- κ B, AP-1, factor nuclear de células T activas y factor 1 inducible de hipoxia. La sobre-estimulación del factor de transcripción nuclear NF- κ B ha sido asociada con el crecimiento celular incontrolado en padecimientos de asma, diabetes, gastritis asociadas a *Helicobacter pylori*, aterosclerosis, artritis reumatoide, esclerosis y enfermedades inflamatorias intestinales. La proteína activadora AP-1 es un factor de transcripción implicado en la regulación de genes, y por ello se relaciona con procesos de diferenciación, proliferación y apoptosis. Se vincula con estímulos de citoquinas, factores de crecimiento, estrés e infecciones virales.
- Generan cascadas de respuesta desde afuera hacia el interior celular por la activación de factores de transcripción. Actúan sobre receptores de Tyr quinasas, quinasas de serina/treonina, factores de crecimiento, receptor del factor de crecimiento epidérmico HER, factor del crecimiento derivado de plaquetas y el factor vascular endotelial.
- Las quinasas extracelulares, p38 y JNK relacionadas con proliferación, diferenciación y apoptosis son sensibles a la acción oxidante.
- La glutarredoxina y la tiorredoxina TRX protegen de los efectos oxidativos en los residuos de Cys unidos a sitios del DNA, pero pueden llegar a sufrir glutatiolación por excesiva oxidación (Birben *et al.*, 2012).

Las acciones del radical superóxido generado por la respiración aerobia en las mitocondrias de los organismos eucariotes y la acción de la NADP oxidasa en el citoplasma afectan y modifican factores de transcripción y otras moléculas implicadas en la regulación

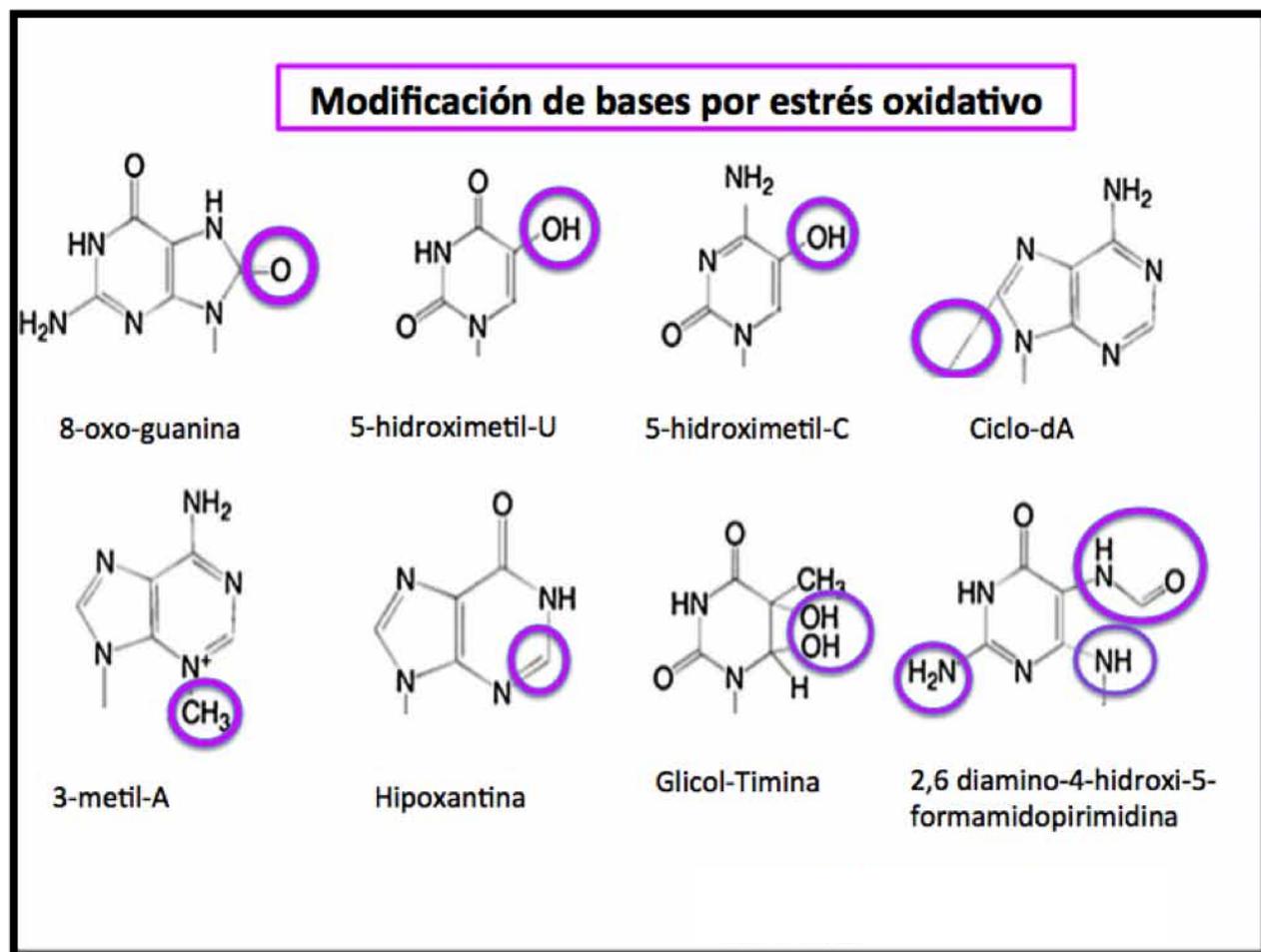
entre proliferación celular y apoptosis. El factor nuclear fosforilado de células T activadas (NFAT-P) se desfosforila por la acción oxidante de los EROs y entra al núcleo celular. También son sensibles a los EROs los sistemas de moléculas que actúan en cascadas de señalización como la familia de las proteinquinas activadas por mitógenos (MEK), grupo que se vincula con las respuestas de transcripción por medio de AP-1 (Birben *et al.*, 2012).

Hay estudios que analizan la elevada resistencia de las levaduras frente al EO. Rodrigues *et al.* (2019) han mostrado la capacidad de un conjunto de factores de transcripción sobre la reprogramación del genoma. Señalan la función de ocho de ellos llamados Yap1 a Yap8 presentes en *Saccharomyces cerevisiae*. Yap1 se activa bajo EO, Yap2/ Cad1 por cadmio, Yap4/ Cin5 y Yap6 por choque osmótico, Yap5 por una sobrecarga de hierro y Yap8/ Arr1 por compuestos de arsénico. Yap3 y Yap7 parecen estar involucrados con hidroquinona y estrés nitrosativo, respectivamente.

Se reconocen estos daños en proteínas:

- Sufren oxidaciones por radiaciones gamma (γ), ozono y metales de transición.
- Ocurre oxidación selectiva en los aminoácidos que integran las cadenas proteicas. Los grupos tiol -SH de la Cys dan grupos -SS-. La metionina forma metionina sulfóxido. También ocurre oxidación en cadenas laterales; la fenilalanina forma o-Tyr.
- La oxidación de los grupos tiol está implicada en modificación de la carga y ésta, a su vez, puede llegar a generar cambios conformacionales. Dichas respuestas pueden favorecer entrecruzamientos no funcionales.
- Las enzimas con metales en el sitio activo son muy sensibles a la oxidación.
- Se presenta pérdida de estructura secundaria, terciaria o cuaternaria, por tanto se pierde la funcionalidad.
- El ácido hipocloroso HClO puede generar grupos carbonilo.
- La proteólisis anula la funcionalidad proteica que puede ser catalítica, transportadora, receptora, inmunológica, estructural u hormonal (Saeidnia y Abdollahi, 2014).

Figura 4. Efectos de EROs sobre moléculas constitutivas de ácidos nucleicos



Fuente: Adaptado de Birben *et al.*, 2012.

Los lípidos que son componentes estructurales de membranas son afectados por los agentes oxidantes.

- Ácidos grasos poliinsaturados, fosfolípidos, triacilgliceroles, esfingolípidos, cerebrosidos, colesterol, así como hormonas y vitaminas de naturaleza lipídica son sensibles a modificar su estructura por lipoperoxidación.

- Al alterar las estructuras y la simetría de las bicapas lipídicas que forman las diversas membranas celulares se perturba la permeabilidad, y con ella el transporte, reconocimiento, señalización de receptores y funciones de transducción energética.
- Son especialmente sensibles las membranas plasmáticas, membranas internas y externas de mitocondrias y cloroplastos, membranas nucleares, Aparato de Golgi, microsomos, peroxisomas y lisosomas.
- Como producto de la peroxidación se forman aldehídos insaturados. El malondialdehído MDA provoca entrecruzamientos de proteínas.
- El 4-hidroxi-2-nonenal depleta de GSH, activa al factor de crecimiento epidérmico humano (HER) e induce formación de fibronectina, proteína implicada en la adhesión celular.
- La presencia de isoprostanos y ácido tiobarbitúrico se ha tomado como una prueba indirecta del EO. Estos compuestos se han registrado en la exhalación respiratoria de pacientes con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas donde hay evidencia de condiciones oxidantes.
- En plasma y condensados respiratorios de asmáticos se han identificado isoprostanos y derivados del ácido araquidónico como consecuencia de los fenómenos de oxidación (Saeidnia y Abdollahi, 2013).

Los fenómenos citados que ocurren en las células están relacionados irreversiblemente con la salud del tejido; por la misma razón con los órganos respectivos y, en su totalidad, con los organismos. Los estudios que han sido referidos por autores como Saeidnia y Abdollahi (2013) señalan claramente la influencia de los radicales superóxido, hidroxilo, oxinitrito y peróxido de hidrógeno con padecimientos que tienen causas genéticas o mitocondriales, presencia excesiva de oncogenes, muerte celular y crisis energéticas. De ellas derivan el cáncer, enfermedades neurodegenerativas, disfunciones inmunológicas y endocrinas, desórdenes vasculares y cardíacos, osteoporosis y diabetes.

Entre los desórdenes neurodegenerativos se cita la enfermedad de Parkinson, caracterizada por la muerte de neuronas dopaminérgicas en el sistema *nigra* del cerebro. Los EROs inician y propagan apoptosis en neuronas dopaminérgicas. Esa apoptosis o necrosis está vinculada con cambios conformacionales de la α -sinucleína, mediante los llamados Cuerpos de Lewy. La α -sinucleína posee tirosinas que están implicadas en la formación del conformero de fibrillas de mayor actividad oxidante. Dichas tirosinas de la α -sinucleína son nitrosiladas por el peroxinitrito. También se registra una oxidación de dopamina por semiquinonas tóxicas. Se manifiestan acciones sobre la mitocondria

que consisten en disminución de las concentraciones de glutatión, catalasa y SOD2 dismutasa. Se declara una neuroinflamación expresada por aumento de citoquinas pro-inflamatorias de ciclooxigenasa (Cox-2), óxido nítrico sintasa (iNO), interleucina 1 β (IL- β) e IL-6. Las investigaciones proponen que el H₂O₂ puede escapar al citosol neuronal por la acción de los agregados de la α -sinucleína (Fernández, 2013).

En el padecimiento de Alzheimer se ha dado evidencia sobre el factor de riesgo más significativo que corresponde al cromosoma 17q.21.31. Dicho loci se asocia con factores de inflamación y con lipoperoxidación, algunos de ellos unidos a carbohidratos de membrana. A partir de la oxidación del ácido araquidónico se forma 4-hidroxi 2-nonenal que se une a proteínas por medio de los aminoácidos Cys, Hist y Lys. Se evidencian las funciones de amiloidosis con entrecruzamiento de placas amiloides y oxidación de la metionina proveniente de proteínas. También se forma 3-nitrotirosina por la acción del peroxinitrito con la tirosina. La apolipoproteína A1 (ApoA1) oxidada conduce a elevados niveles del TNF- α , cruza la barrera cefálica e induce EO en el parénquima cerebral, especialmente en la corteza frontal. Dicha condición oxidante afecta las mitocondrias cerebrales y conduce a apoptosis. El TNF- α se caracteriza por desregular la respuesta inmunológica y favorecer los procesos inflamatorios crónicos (Butterfield, 2014).

En la enfermedad de Huntington se ha encontrado una proteína en altas proporciones en neuronas y otras células a la que se ha llamado huntingtina y también se registran altos niveles de EROs. A los últimos se atribuyen daños en el DNA con numerosos tripletes de CAG y presencia de 8OH-dG; a los lípidos con la formación de malondialdehído y 4-hidroxinonenal; fenómenos de nitración y carbonilación; disminución de glutatión y de las enzimas glutatión peroxidasa, catalasa y SOD; daños en la cadena respiratoria en los complejos II y III, en la piruvato deshidrogenasa y alteraciones en el metabolismo del hierro. Autores como Tasset *et al.* (2009) reconocieron la actividad modificada del factor de transcripción Nrf2, el cual modula la expresión de genes conservados en la evolución filogenética de la especie. Su función es regular la expresión de proteínas antioxidantes de fase II, como tiorredoxina, tiorredoxina reductasa, glutatión-S-transferasa, glutatión peroxidasa y SOD1. En la enfermedad, este factor se encuentra secuestrado por la proteína Keap1.

Muchos de los componentes patológicos de las enfermedades cardiovasculares están estrechamente relacionados con la producción del EO. Éste participa en todas las fases del proceso aterotrombótico: daño al ADN y a la membrana mitocondrial, peroxidación lipídica y proteica, proliferación celular, adhesión y agregación plaquetaria e inestabilización de la placa (Joffre, 2014; Puntarulo y Gelpi, 2015).

Las principales fuentes del EO son las productoras de EROs. Ellas son la NADPH oxidasa, xantino oxidasa, lipooxigenasa, ciclooxigenasa, la acción conjunta de las eosinófilo peroxidasa y mielo peroxidasa y la sintasa constitutiva de NO. La actividad de la NADPH oxidasa es estimulada por citoquinas proinflamatorias, TNF- α e interleuquina 1 (IL1), factores de crecimiento fibroblástico beta (FGF-B) y el factor de crecimiento tipo insulínico (IGF-1), ácidos grasos libres, productos avanzados de la glicación no enzimática, LDL oxidada y angiotensina II. Todos estos mediadores actúan estimulando sus respectivos receptores en la membrana celular. Entre los efectos fundamentales de los EROs en las células endoteliales, Joffe (2014) ha señalado los siguientes:

- Un evento fundamental es la severa disminución en la biodisponibilidad del óxido nítrico (NO), al reaccionar éste con el radical superóxido y formar peroxinitrito.
- La oxidación de la tetrahidrobiopterina (BH₄), cofactor de la eNOS, lleva al desacoplamiento de la enzima.
- Activan genes prooxidativos, como el factor 1- α , inducible por la hipoxia, lo cual conlleva a angiogénesis y proliferación celular.
- El superóxido induce un daño oxidativo directo mitocondrial a través de cambios en la membrana interna del organelo. Con la alteración de la cadena transportadora de electrones se potencializa la producción de EROs.
- Activan al factor de transcripción nuclear NF- κ B, el cual permite que se expresen genes proinflamatorios y se aumenta la producción de ARNs para la síntesis de citoquinas proinflamatorias y de quimoquinas.
- Aumentan la expresión de moléculas de adhesión a nivel de la superficie endotelial: la de adhesión intercelular (ICAM-1), la de adhesión de células vasculares (VCAM-1) y la E-selectina.
- Activan los procesos de fosforilación proteica, disminuyendo los de desfosforilación. Al inhibir a la tirosinfosfatasa se favorece la formación de proteinquinas activadas por mitógenos (MAPKs), las cuales activan al NF- κ B.
- Oxidan a las LDL. Se aumenta el potencial aterogénico y el tiempo de permanencia en la íntima vascular al quedar unidas a los proteoglicanos.
- Oxidan a las HDL. Se disminuye su capacidad antiinflamatoria y el transporte reverso de colesterol.
- Los EROs de los macrófagos de la íntima vascular promueven la activación de las metaloproteinasas, lo cual lleva a la degradación de la cápsula de colágeno y a la ruptura de la placa (Joffe, 2014).

La asociación entre la diabetes y una disfunción reproductiva ha sido estudiada mediante marcadores del EO como la expresión de enzimas antioxidantes, la translocación de NF- κ B al núcleo, la producción de citoquinas inflamatorias y la apoptosis en la mitocondria, además del análisis histológico testicular y la concentración sérica de testosterona. Ghosh *et al.* (2019) valoraron el efecto de la taurina con un modelo murino y encontraron como resultado que potencian su uso como un agente profiláctico. Ma *et al.* (2018) han generado un modelo bioluminiscente para estudiar la producción de EROs en el tracto reproductivo de rata afectada por diabetes, mediante un sustrato de luciferina que expresa a la luciferasa.

La actividad carcinogénica del benzo(a)pireno B(a)P ha sido ampliamente documentada. Sus efectos se han vinculado con daños reproductivos al inducir disfunciones esteroideogénicas en las células de Leydig. Su exposición induce EROS que activan la p38 MAPK, reprimen el nivel de testosterona y la expresión de enzimas y decrece la expresión de SF-1 que actúa como un inductor transcripcional en la expresión del gen StAR. Banarjee *et al.* (2019) analizaron el efecto protector del resveratrol al secuestrar los EROS, modular la regulación transcripcional de enzimas antioxidantes, prevenir la activación del estrés por la quinasa p38 MAPK, restaurar la producción de testosterona y modular la expresión del gen SF-1.

En las condiciones de hiperglucemia se incrementa el flujo de electrones de la cadena respiratoria mitocondrial, condición que favorece la hiperpolarización de la membrana interna con la formación de radical superóxido y de “proteínas desacoplantes” UCP-2, con lo que disminuye la producción de ATP y la secreción de insulina. La respuesta a la glucosa, la energía celular y la propia membrana interna se regulan por las UCPs. Dichas UCPs de función transportadora controlan el acoplamiento de la respiración con el beneficio de la síntesis de ATP y coadyuvan en la defensa como antioxidantes. En el caso de la diabetes tipo 2 se tiene la hipótesis de que hay cambios en la expresión, regulación y función de las UCPs. El aumento de Ca^{2+} intracelular, necesario para la exocitosis de la insulina, también participa en la formación de EROS (Ortega y Ávalos, 2012). Frenkel *et al.* (2018) mostraron cómo la acción antioxidante de la N-acetilcisteína reduce la progresión de la Diabetes Tipo 1.

Los padecimientos renales por intoxicación con cadmio manifiestan un patrón oxidante. Jiao *et al.* (2019) han analizado la acción de un producto llamado wogonina de uso preventivo que inhibe el EO inducido por NF- κ B, los mediadores de inflamación, NTF- α , interleucina 6, e interleucina 1b. Estimula p65 y la fosforilación de la p38. La toxicidad del tetracloruro de carbono en el hígado se manifiesta con alteraciones en los marcadores de EO de la SOD, glutatión peroxidasa, malondialdehído, expresión de

paraoxonasa-1 (PON -1), interleucina-1 β e interleucina-10. En este campo de estudio, Farid *et al.* (2019) han encontrado la acción antioxidante de la lactoferrina que mitiga los mecanismos inmunológicos dañados por el EO.

Un steviósido extraído de *Stevia rebaudiana* está siendo probado para resolver daños en el hígado inducidos por exposiciones a la tioacetamida. Este tóxico desregula la expresión del factor nuclear NF- κ B, con el aumento de citoquinas inflamatorias y decrece la capacidad antioxidante a través de la desregulación del factor nuclear Nrf2. Dicho esteviósido evita la sobre-regulación de genes implicados en los procesos inflamatorios (Casas *et al.*, 2019).

La participación del EO en el cáncer ha sido estudiada por numerosos autores. Se ha hablado de las múltiples causas; unas genéticas, y por tanto hereditarias, y otras por respuestas al alcoholismo, hábitos de fumar, presencia en el medio ambiente de radiaciones ultravioleta, ozono, partículas suspendidas de diámetro aerodinámico 2.5 μ m, vapores de agroquímicos y metales pesados. Son abundantes los efectos en poblaciones expuestas por trabajos peligrosos, por dietas con exceso de grasas, por infecciones como *Helicobacter pylori*, virus de papiloma humano HPV, virus de hepatitis C HCV y por inflamación crónica, por ejemplo la colitis ulcerosa. Sin embargo, los estudios de Toyokuni (2016) han valorado en mayor proporción las causas del metabolismo del oxígeno, del Fe y del radical hidroxilo. Se ponen de manifiesto datos relevantes:

- Persistencia de un estado pro-oxidante.
- Los EROs activan las fases de iniciación, promoción y progresión del tumor.
- Los neutrofilos y macrofilos liberan O_2^- , H_2O_2 y $HO\cdot$ en la inflamación crónica.
- El aumento de EROs se manifiesta en la proporción de apoptosis y/o necrosis.
- Aún bajos niveles de EROs estimulan la tumorigénesis.
- Existe una relación entre el tamaño de tumor benigno y la presencia de 8-hidroxi-G.
- Se presentan frecuentes mutaciones, ruptura de hebras de DNA e intercambio de cromátidas.
- Se registra activación de oncogenes o inactivación de supresores de tumores.
- La alteración de procesos de reparación de DNA es causa de tumorigénesis.
- Hay daño en el DNA mitocondrial.
- Se manifiestan mecanismos intrínsecos y extrínsecos durante el desarrollo y progresión del tumor.
- Se hace presente una relación entre el estado metabólico y el daño carcinogénico.
- La p53 se manifiesta alterada (Toyokuni, 2016).

Hatem y Azzi (2016) muestran que la producción continua de EROs se debe a un ambiente oxidante y a la saturación de los sistemas intracelulares de detoxificación. Las autoras analizaron la participación de los EROs en la migración, invasión y metástasis en procesos carcinogénicos. Mientras que los antioxidantes regulan la angiogénesis mediada por el factor de crecimiento endotelio-vascular (VEGF), estabilizan la expresión de caderinas y evitan la fosforilación de cateninas, los EROs tienen estas respuestas:

- Participan en la iniciación, migración celular, transición mesenquimatoso-epitelial con el fenotipo *stem cell*.
- Promueven cambios que involucran dinámica en el citoesqueleto y modulan adhesión de moléculas.
- La activación de integrinas dirige cambios en el metabolismo mitocondrial y activa las oxidasas NOX y COX-2.
- Controlan unión célula-célula en VE-caderinas.
- Disparan señales de rutas que desmantelan interacciones célula-célula en endotelios.
- Entre las disfunciones vasculares se citan la elevada permeabilidad, migración endotelial y desregulación de la angiogénesis.
- Hay señales entre EROs y proteínas RAC-1 miembros de la familia de proteínas G involucradas en la invasión y metástasis que fosforilan cateninas por medio de quinasas (Hatem y Azzi, 2016).

Recientemente Cai *et al.* (2019) han presentado al brusatol, extraído de las semillas de *Brucea sumatrana*, como un potente supresor de tumores. Los autores han dado información experimental de su efecto terapéutico al relacionarlo con la inhibición del factor de transcripción nuclear eritroideo Nrf2 y con la síntesis *de novo* del glutatión. Los autores muestran su efecto en leucemia, cáncer pulmonar, pancreático y en tumores cerebrales.

Los datos presentados muestran que las fuentes de EO afectan las macromoléculas esenciales en la vida celular: i) enzimas y proteínas de función antioxidante son depletadas; ii) otras proteínas son alteradas por fenómenos de oxidación y entrecruzamiento entre ellas mismas; iii) los EROs y el ion ferroso Fe^{2+} tienen acción específica sobre los procesos de duplicación, transcripción, traducción y reparación del DNA; iv) los lípidos son afectados por peroxidación y se forman sustancias tóxicas como aldehídos e isoprostanos. Por otro lado, el dinamismo celular evidencia que los sistemas antioxidantes contienden con las acciones citadas y en la medida de lo posible resuelven los daños mencionados. En palabras de Boltzmann “la vida es la victoria sucesiva sobre las catástrofes energéticas”.

CONCLUSIONES

El EO se muestra multifactorial en sus causas, e igualmente se manifiesta como una red de respuestas en diversos niveles de la organización y la funcionalidad biológicas, de modo que se conecta con la salud de los organismos. Los estudios que analizan la desregulación crónica de las condiciones óxido-reductoras en enfermedades neurodegenerativas, vasculares, endocrinas, inmunológicas, metabólicas, así como en las variantes de carcinomas, apoyan las evidencias de su participación. Bajo estas consideraciones, el EO puede categorizarse como un fenómeno complejo. Con el objeto de participar en la solución de los correspondientes asuntos sanitarios, es fundamental avanzar en el conocimiento teórico de sus acciones; en las redes sistémicas entre las estructuras génicas, epigénicas y metabólicas, así como en los métodos idóneos para las determinaciones cualitativa y cuantitativa de los analitos a medir. Otro renglón importante es atender la salud ambiental, ya que la unidad planetaria redistribuye los recursos energéticos y materiales en los medios bióticos y abióticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, F. *et al.*, 2019, "The effects of acute BPA exposure on skeletal muscle mitochondrial function and glucose metabolism", en *Mol Cell Endocrinol*, 499(1): 110580.
- Argaev, L. *et al.*, 2019, "N-Acetyl-L-Cysteine Supplement in Early Life or Adulthood Reduces Progression of Diabetes in Nonobese Diabetic Mice", en *Curr Dev Nutr*, 3(4): nzy097.
- Arjmandi, N. *et al.*, 2018, "Can light emitted from smartphone screens and taking selfies cause premature aging and wrinkles?", en *J Biomed Phys Eng* 8(4): 447-452.
- Bahri, S. *et al.*, 2019, "Protective role of vitamin E against cadmium induced oxidative stress into the rat liver", en *Tunis Med* 97(1): 100-105.
- Banerjee, B. *et al.*, 2019, "Protective Effect of Resveratrol on Benzo(a)Pyrene Induced Dysfunctions of Steroidogenesis and Steroidogenic Acute Regulatory Gene Expression in Leydig Cells", en *Front Endocrinol (Lausanne)*, 10(1): 272-279.
- Betancur, L. y O. Mosquera, 2017, "Cuantificación de Tioles Libres y Superóxido Dismutasa (SOD) en Extractos Metanólicos de Plantas de las Familias Asteraceae, Euphorbiaceae y Piperaceae", en *Rev Fac Cienc Básicas*, 13(2): 117-122.
- Birben, E. *et al.*, 2012, "Oxidative stress and antioxidant defense", en *World Allergy Organ J*, 5(1): 9-19.

- Butterfield, A., 2014, "The 2013 SFRBM discovery award: selected discoveries from the butterfield laboratory of oxidative stress and its sequela in brain in cognitive disorders exemplified by Alzheimer disease and chemotherapy induced cognitive impairment", en *Free Radic Biol Med*, 74(1): 157-174.
- Cai, J. *et al.*, 2019, "Brusatol, an NRF2 inhibitor for future cancer therapeutic", en *Cell Biosci*, 9(1): 45-50.
- Cardoso, L. *et al.*, 2019, "Effects of salbutamol and phlorizin on acute pulmonary inflammation and disease severity in experimental sepsis", en *PLoS One*, 14(9): e0222575.
- Casas, S. *et al.*, 2019, "Antioxidant and immunomodulatory activity induced by stevioside in liver damage: In vivo, in vitro and in silico assays", en *Life Sci*, 224(1): 187-196.
- Christodoulou, D. *et al.*, 2019, "Reserve Flux Capacity in the Pentose Phosphate Pathway by NADPH Binding Is Conserved across Kingdoms", en *iScience*, 19(1): 1133-1144.
- Cortina, R. y Arizmendi, D. 2012, "Importancia del estrés oxidativo perinatal", en *Anales Médicos*, 57(3): 217-222.
- Dehn, F. *et al.*, 2005, "Organochlorine insecticides: impacts on human HepG2 cytochrome P4501A, 2B activities and glutathione levels", en *Toxicol in vitro*, 19(2): 261-273.
- Djuric, M. *et al.*, 2019, "The Effects of Gasotransmitters Inhibition on Biochemical and Haematological Parameters, and Oxidative Stress in Propofol-Anaesthetized Wistar Male Rats", en *Can J Physiol Pharmacol*, 1(2): 23-32.
- Farid, S. *et al.*, 2019, "Anti-inflammatory, anti-oxidant and hepatoprotective effects of lactoferrin in rats", en *Drug Chem Toxicol*, 4(1): 1-8.
- Fernández, E., 2013, "Agregación de alfa-sinucleína y degeneración Parkinsoniana", en *Fisiología: Boletín informativo de la SECF*, 2(1): 17-19.
- Gamidov, I. *et al.*, 2019, "[Double-blind, randomized placebo-controlled study of efficiency and safety of complex acetyl-L-carnitine, L-carnitine fumarate and alpha-lipoic acid (Spermactin Forte) for treatment of male infertility]", en *Urologia*, 1(4): 62-68.
- Ghosh, S. *et al.*, 2019, "Taurine ameliorates oxidative stress induced inflammation and ER stress mediated testicular damage in STZ-induced diabetic Wistar rats", en *Food Chem Toxicol*, 124(1): 64-80.
- Gvozdjakova, A. *et al.*, 2019, "A new insight into the molecular hydrogen effect on coenzyme Q and mitochondrial function of rats", en *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 1(2): 12-20.
- Hasanein, P. *et al.*, 2019, "Vitamins C and E alone and in combination partly protect against chronic ethanol-induced toxicity in rat erythrocytes", en *Int J Vitam Nutr Res*, 89(3-4): 152-160.

- Hatem, E. y S. Azzi, 2016, "Oxidative Stress in Carcinogenesis and Therapy", en *J Cell Signal*, 1(1): 1-10.
- Henle, S. y S. Linn, 1997, "Formation, prevention, and repair of DNA damage by iron/hydrogen peroxide", en *J Biol Chem*, 272(31): 19095-19098.
- Hernández, D. y J. McCord, 2007, "Evolución y radicales libres. Importancia del estrés oxidativo en la patología humana", en *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 45(5): 477-484.
- Jiao, D. *et al.*, 2019, "Nephroprotective effect of wogonin against cadmium-induced nephrotoxicity via inhibition of oxidative stress-induced MAPK and NF- κ B pathway in Sprague Dawley rats", en *Hum Exp Toxicol*, 38(9): 1082-1091.
- Joffre, T. 2014., "Estrés oxidativo, disfuncion endotelial y aterosclerosis", en *Anales de la Facultad de Medicina*, pp. 351-352, Vol. 75. UNMSM, Facultad de Medicina, México.
- Kieliszek, M., 2019, "Selenium—Fascinating Microelement, Properties and Sources in Food", en *Molecules*, 24(7): 1298-1301.
- Krause, J. *et al.*, 2019, "Adult vascular dysfunction in fetal growth restricted guinea pigs is associated with a neonate-adult switching in Nos3 DNA methylation", en *Acta Physiol*, 1(2): e13328.
- Liu, Y. *et al.*, 2019, "Three *Camellia sinensis* glutathione S-transferases are involved in the storage of anthocyanins, flavonols, and proanthocyanidins", en *Planta*, 250(4): 1163-1175.
- Ma, Q. *et al.*, 2018, "A new bioluminescent imaging technology for studying oxidative stress in the testis and its impacts on fertility", en *Free Radic Biol Med*, 124(1): 51-60.
- Nabavi, M. *et al.*, 2019, "Phosphodiesterase inhibitors say NO to Alzheimer's disease", en *Food Chem Toxicol*, 1(2): 110822.
- Nakashima, A. *et al.*, 2019, "Chronic ethanol consumption increases reactive oxygen species generation and the synthesis of pro-inflammatory proteins in the heart through TNFR1-dependent mechanisms", en *Cytokine*, 121(1): 154734.
- Nelson, D. y M. Cox., 2000, "Effect of hydrogen bond cooperativity on the behavior of water", en W. Freeman (comp.) *Lehninger. Principles of Biochemistry*, pp. 673-701, 7^a ilustrada ed. Omega, Nueva York, USA.
- Oliveira, B. *et al.*, 2019, "Pasteurized Orange Juice Rich in Carotenoids Protects *Caenorhabditis elegans* against Oxidative Stress and beta-Amyloid Toxicity through Direct and Indirect Mechanisms", en *Oxid Med Cell Longev*, 2019(1): 5046280.
- Olsvik, A. *et al.*, 2019, "Chlorpyrifos-induced dysfunction of lipid metabolism is not restored by supplementation of polyunsaturated fatty acids EPA and ARA in Atlantic salmon liver cells", en *Toxicol in Vitro*, 1(2): 104655.

- Ortega, C. y R. Ávalos., 2012, "Desacoplamiento mitocondrial en diabetes tipo 2", en F. Fierro y O. Vergara (comp.), *Impacto de la biología molecular y las nuevas tecnologías en el conocimiento de la función celular y sus aplicaciones*, pp. 193-208, Vol. 15. 1ª. ed., Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México.
- Paparella, C. *et al.*, 2015, "Importancia de la evaluación del estrés oxidativo en el semen humano", en *Archivos de Medicina Interna*, 37(1): 07-14.
- Puntarulo, S. y R. Gelpi., 2015, *Avances y Perspectivas de los estudios realizados en el Instituto de Bioquímica y Medicina Molecular*, en *BIOMOL*, Argentina.
- Pisoschi, M. y A. Pop, 2015, "The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review", en *Eur J Med Chem*, 97(1): 55-74.
- Powers, K. *et al.*, 2016, "Exercise-induced oxidative stress: past, present and future", en *J Physiol*, 594(18): 5081-5092.
- Prado, G. *et al.*, 2009, "Genotoxicity of heptachlor and heptachlor epoxide in human TK6 lymphoblastoid cells", en *Mutat Res*, 673(2): 87-91.
- Rodrigues, C. *et al.*, 2019, "Yeast AP-1 like transcription factors (Yap) and stress response: a current overview", en *Microb Cell*, 6(6): 267-285.
- Rozanowska, M. *et al.*, 2019, "Scavenging of Retinoid Cation Radicals by Urate, Trolox, and alpha, beta, gamma, and delta Tocopherols", en *Int J Mol Sci*, 20(11): 148-156.
- Saeidnia, S. y M. Abdollahi, 2013, "Toxicological and pharmacological concerns on oxidative stress and related diseases", en *Toxicol Appl Pharmacol*, 273(3): 442-455.
- Said, M. *et al.*, 2014, "Oxidative Stress Versus Antioxidants", en *J Biosci Bioeng*, 2(5): 60-71.
- Saito, T. *et al.*, 2019, "Early administration of galantamine from preplaque phase suppresses oxidative stress and improves cognitive behavior in APP^{swe}/PS1^{dE9} mouse model of Alzheimer's disease", en *Free Radic Biol Med*, 145: 20-32.
- Shieh, P. *et al.*, 2019, "The protective effects of the antioxidant N-acetylcysteine (NAC) against oxidative stress-associated apoptosis evoked by the organophosphorus insecticide malathion in normal human astrocytes", en *Toxicology*, 417(1): 1-14.
- Tasset, I. *et al.*, 2009, "Bases moleculares de la enfermedad de Huntington: papel del estrés oxidativo", en *Rev Neurol*, 49(1): 424-429.
- Toyokuni, S., 2016, "Oxidative stress as an iceberg in carcinogenesis and cancer biology", en *Arch Biochem Biophys*, 595(1): 46-49.
- Wang, S. *et al.*, 2019a, "PRDX2 protects against oxidative stress induced by *H. pylori* and promotes resistance to cisplatin in gastric cancer", en *Redox Biol*, 28: 101319.
- Wang, Y. *et al.*, 2019b, "P66Shc deletion ameliorates oxidative stress and cardiac dysfunction in pressure overload-induced heart failure", en *J Card Fail*, 1(2): 23-29.

- Yang, L. *et al.*, 2019, "Cardiac-specific overexpression of metallothionein attenuates L-NAME-induced myocardial contractile anomalies and apoptosis", en *J Cell Mol Med*, 23(7): 4640-4652.
- Zentella, M. y B. Saldaña, 2000, "Papel fisiológico de los radicales libres", en *Bol Edu Bioq.*, UNAM, 15(4): 152-161.

El sector lechero de pequeña escala en el Departamento de Caldas: estado actual, retos y modelo para la asistencia técnica universitaria. Universidad de Caldas¹

Alfredo Cesín Vargas²

En estos momentos yo no vengo a trabajar por la Universidad, sino a pedir a la Universidad que trabaje para el pueblo
José Vasconcelos³

El libro tiene dos vertientes, primero nos hace reflexionar acerca del rol que debe tener la academia, con énfasis en la universidad pública y su compromiso social, en el siglo XXI; tema de la mayor relevancia sobre todo si se considera que por diversos motivos, por lo menos en el caso mexicano (aunque, de acuerdo con la literatura, parece ser un problema que se tiene en varios países), se ha distorsionado el espíritu que debe guiar el trabajo académico, buscando, en algunos casos, la mayor producción académica vinculada a los estímulos por desempeño, becas o promociones, sin considerar la pertinencia de la investigación, y con ello perdiéndose, frecuentemente, la articulación de la universidad con los sectores sociales o productivos.

En un segundo apartado, se relata la planeación, ejecución, retos y problemas a los que se enfrentó el Departamento de Caldas, Colombia, al realizar una investigación aplicada, cuyos objetivos fueron mejorar la productividad, calidad e inocuidad de la leche. Proyecto interesante debido a que, entre otros aspectos, parte de la premisa de que es indispensable una relación de calidad entre Estado, sector privado y academia

¹ Rivera Sánchez, Bernardo; Vargas Sánchez, Julio Ernesto; Patiño Murillo, Marcela. 2016.

² Unidad Académica de Estudios Regionales, CoHu, UNAM.

³ Discurso de toma de posesión como rector de la UNAM. *Boletín de la Universidad. Órgano del Departamento Universitario y de Bellas Artes*, IV Época. Tomo I. núm. agosto 1920. pp. 7-13.

para la construcción de propósitos comunes en un marco de confianza entre las partes. Lo que permitió reflexionar sobre la misión de la universidad y su función de extensión.

El libro se compone de siete grandes apartados: i) Introducción, ii) Contexto, iii) Objetivos, iv) Materiales y Métodos, v) Resultados, aprendizajes y reflexiones, vi) Retos para la modernización del sector lechero de pequeña escala en Caldas y vii) Conclusiones, además de las referencias y dos anexos. En el primer apartado se reconoce el trabajo del grupo ejecutor del proyecto, otorgándoles los créditos correspondientes; en el segundo, la participación del grupo de estudiantes que realizaron sus prácticas institucionales en el proyecto. Esto es de gran importancia, pues, al involucrar a estudiantes de diversas carreras, se cumplen con dos objetivos: el primero, que sean mejores profesionistas y tengan un primer acercamiento con lo que será su desarrollo profesional; el segundo, que conozcan la realidad del sector productivo y se contribuya, con estas acciones, a la formación de profesionistas capaces y socialmente comprometidos, además con ideas innovadoras para solucionar, con la menor huella ecológica (entre otras consideraciones), los grandes retos que para la humanidad depara el siglo XXI.

Se parte de un diagnóstico que pone sobre la mesa la paradoja de que aun cuando existe un aparente consenso en la academia sobre la relevancia de la asistencia técnica y la extensión rural, “particularmente cuando se articulan a procesos productivos y al desarrollo de capacidades” (p. 16), éstos son muy reducidos, en el caso de los pequeños productores de leche colombianos, y los esfuerzos de las administraciones municipales, con todas las limitaciones que las caracterizan, frecuentemente caen en vicios de clientelismo y politización.

El extensionismo en el siglo XXI puede ser una herramienta de desarrollo indispensable si se consideran las transferencias necesarias para producir alimentos, rompiendo con paradigmas productivistas que degradan los recursos naturales, así se vuelve necesario cumplir con los requisitos que establece la Agenda 2030; es en ello en lo que las universidades deben cumplir un papel crucial para generar conocimiento pertinente acorde a los nuevos paradigmas, que debe considerar los aspectos técnicos y las condiciones socioeconómicas de los productores, debiendo ser, necesariamente, de carácter interdisciplinario.

Entre algunos de los retos que enfrenta el sistema agroalimentario, el lechero incluido, están la producción de alimentos suficientes para satisfacer las necesidades de una población –aunque en tasas menores a las décadas anteriores–, que sean inocuos y organolépticamente aceptados por sus consumidores, y en ese sentido, cercanos a la cultura gastronómica de quien los adquiera, tomando relevancia los productos locales, los que, al usar insumos de la región y no tener que transportarse, son más cercanos a

una producción sustentable y se convierten en una actividad rentable, que, a su vez, proporciona una vida digna a la familia del productor.

En ese sentido, es importante señalar que no se trata de revivir estrategias de desarrollo que, al perder viabilidad de largo plazo, fracasaron en el pasado, causando, por ejemplo, la crisis de la deuda externa en los países latinoamericanos y, como consecuencia de ello, el derrumbe del Estado de Bienestar, de lo que se trata es de rescatar experiencias exitosas del pasado, adaptándolas a las nuevas circunstancias económicas, sociales y ecológicas que demandan los patrones productivos tendientes a la sustentabilidad.

Como bien señalan los autores del libro, el extensionismo probó ser una estrategia de desarrollo exitosa en los ahora países más avanzados del planeta, y lo que se busca es, aprendiendo de las experiencias del pasado, adaptarla a las exigencias que demanda la producción de alimentos con el menor impacto ecológico; que sea flexible, en el sentido que pueda adaptarse para dar soluciones individuales a los productores, olvidando la falsa premisa de que todos tienen la misma problemática y, por tanto, se les ofrecen soluciones idénticas. Adicional a esto, también se busca que cumpla con las nuevas exigencias que están emanando desde algunos sectores, en muchos casos los de vanguardia, y los de la sociedad; en el caso de la ganadería, por ejemplo, que se cumpla con los protocolos de bienestar animal, que se comercialicen los productos bajo el esquema de comercio justo, etcétera.

Es la universidad donde se debe generar el conocimiento pertinente; con relación a esto citan a Tünnermann (2000), quien considera que la Universidad del siglo XXI debe evitar el riesgo de dispersar los programas de extensión en una infinidad de tareas y servicios inconexos, sin un plan maestro que les confiera orientación. También retoman a Ortega y Gasset, al señalar que el imperativo de la autenticidad de la Universidad es emprender sólo aquello que puede hacer bien, diseñando programas de manera que correspondan con lo que cabe esperar de una academia de nivel superior.

En por esto, que las universidades, y la generación de conocimiento que en ellas se produzca, deberían de ser el capital necesario en la sociedad del conocimiento, que dé viabilidad a las sociedades latinoamericanas y a la extensión, muchas veces olvidada; debiera ser, a juicio de los autores, a la par de la docencia e investigación, una función sustantiva de la vida universitaria. Actividad que aseguran debe hacerse de acuerdo con lo planteado en el Triángulo de Sábato (Sábato y Botana, 1993), el que considera la articulación substancial Estado-Academia-Sector productivo para impulsar la innovación y el desarrollo del territorio.

Para llevar a cabo el proyecto de investigación, se basaron en el estudio de Fedegán de 2014, que determina que en el Departamento de Caldas había 353 065 cabezas de ganado, 425 881 ha de pastos, y que 67% de las explotaciones son menores de 25 ha y 56% de la leche producida se comercializa de manera informal. También se determinó que la ganadería del departamento tiene problemas de productividad, calidad e inocuidad de la leche; además, del impacto que la ganadería tiene sobre el ecosistema, se señala que Caldas tiene el primer lugar en problemas de erosión, con 82% con algún grado de afectación.

Los autores consideran que la compleja problemática de la ganadería lechera de Caldas puede explicarse, principalmente, por un bajo nivel tecnológico y carencias en la formación del recurso humano. Por lo anterior, se plantearon como retos, con la participación de profesores y estudiantes de diferentes áreas de conocimiento, aprender acerca de: i) Retos y posibilidades de la ganadería en Caldas, ii) Retos y posibilidades de este tipo de proyectos para consolidar las relaciones del Triángulo de Sábado y iii) Estrategias de regionalización y el compromiso social de la Universidad.

Como punto importante, y con el apoyo de la Secretaría de Agricultura, identificaron y priorizaron los municipios en que se realizaría el proyecto, los que se seleccionaron con base en la tradición lechera, el número de productores, los volúmenes de leche comercializados y la existencia de una organización de productores, ya sea consolidada o en proceso de serlo. Como resultado de esto fueron seleccionados 16 municipios, y para la estratificación de los productores se utilizó el criterio de Fedegán, basado en el número de hectáreas productivas de la finca, lo que resultó en pequeños productores que poseen menos de 25 ha, y medianos entre 25 y 100 ha.

Con base en el diagnóstico y el conocimiento de la problemática de la ganadería de la región, se determinó una propuesta metodológica de intervención con cuatro componentes tecnológicos básicos para el desarrollo de las explotaciones lecheras: i) nutrición y alimentación, ii) genética y mejoramiento, iii) salud y sanidad, y iv) administración y gestión. Los cuatro puntos fueron, sin duda alguna, medulares para el éxito de las ganaderías, no obstante, en la ejecución del proyecto, se determinó si uno o más de uno debían de trabajarse en una determinada finca.

Además, el proyecto procuró: i) Utilizar el conocimiento altamente especializado de los profesores, ii) Generar espacios de encuentro entre especialistas y especialidades, iii) Abrir espacios de discusión sobre alternativas para atender los problemas productivos, organizativos y de relacionamiento social, iv) Generar un espacio de reflexión sobre el rol y las limitaciones de la tecnología en el desarrollo, v) Retroalimentar la agenda de investigación de la Universidad, y vi) Exponer a los estudiantes a los problemas tecno-

lógicos de la producción de leche, y a la forma en que deben ser abordados y resueltos. Todos estos aspectos fundamentales para el establecimiento de un círculo virtuoso, particularmente relevante, en el que se pueden relacionar todos; es el quinto paso, de acuerdo a lo anterior dicho, en el que los investigadores aprenden de la realidad para, posteriormente, generar conocimiento pertinente para mejorar esa realidad.

Los resultados del proyecto fueron satisfactorios y, a manera de reflexión, los autores señalan que a la Universidad le corresponde, como conciencia crítica de la sociedad, pensar, enseñar a pensar, y transmitir y acrecentar el pensamiento.

Guía para autores¹

Tipo de contribución

1. Artículos de investigación
2. Notas de investigación
3. Ensayos y revisiones bibliográficas
4. Reseñas de libros y comentarios

Los *Artículos de investigación* deben reportar resultados de investigaciones originales y no haber sido entregados para su publicación en cualquier otro medio. Los artículos no deben rebasar más de 30 cuartillas manuscritas incluyendo figuras, cuadros, referencias, etc.

Las *Notas de investigación* son una descripción concisa y completa de una investigación limitada, la cual no puede ser incluida en un estudio posterior.

La *Nota científica* debe estar completamente documentada por referencias bibliográficas y describir la metodología empleada como en un artículo de investigación. No deberá exceder las 15 cuartillas, incluyendo figuras, cuadros y referencias.

Los *Ensayos y revisiones bibliográficas* deben incluir un tema de interés actual y relevante. Estos trabajos no deben exceder las 20 cuartillas.

Las *Reseñas de libros* pueden ser incluidas en la revista en un rango de libros relevantes que no tengan más de 2 años de haber sido publicados. Las reseñas no deben exceder las 6 cuartillas.

¹ Para mayores detalles revisar esta guía en extenso en la página web de la revista: <http://xoc.uam.mx/>

Presentación de textos

La presentación implica que todos los autores autorizan la publicación del documento y que están de acuerdo con su contenido. Al aceptar el artículo la revista puede cuestionar a el (las, los) autor(as, es) para transferir el derecho de su artículo a la editorial.

Los trabajos para consideración pueden ser enviados de dos formas:

1. Archivo electrónico. Se enviará en documento de word como un archivo adjunto al correo electrónico aalvarez@correo.xoc.uam.mx. Mediante la misma vía se realizará el acuse de recibo.
2. Documento impreso (papel). Se enviarán las copias impresas por mensajería a:

Adolfo Álvarez Macías

Director Editorial

Revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*

Edificio 34, 3° piso, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, CP 04960, México, D.F.

Tel: 5483-7230 y 31

Archivo electrónico

Se enviará el trabajo en dos archivos adjuntos. El primero incluirá el texto completo; el segundo, en caso de existir, las gráficas, tablas o figuras. El documento deberá tener los cuatro márgenes de 2.5 centímetros y numerarse de manera continua todos los renglones. El tipo de letra será Arial, tamaño 12 puntos a espacio de 1.5 de interlínea. Las cuartillas deberán estar numeradas.

Documento impreso

Para la consideración inicial del texto, es necesario enviar tres copias impresas en total, adjuntando las versiones electrónicas. Posterior a la aceptación final, deberá enviarse en un disco compacto (CD) con dos archivos: la versión final y una sugerencia de cómo quedaría impreso. En la etiqueta del disco, es necesario indicar el nombre de los archivos así como de los autores.

Preparación y consideraciones generales para el manuscrito

1. El texto deberá ser escrito en español, inglés o francés.
2. Si se decide enviar el documento impreso, es necesario adjuntar las ilustraciones originales y dos juegos de fotocopias (tres impresiones de una fotografía).
3. Deberá tener las líneas numeradas, incluyendo resumen, pies de página y referencias.
4. El texto deberá tener el siguiente orden:
 - Título (Claro, descriptivo y corto).
 - Nombre de el (las, los) autor (as, es).
 - Teléfono, correo electrónico y fax del primer autor para recibir correspondencia.
 - Dirección actual de el (las, los) autor (as, es).
 - Resumen.
 - Palabras clave (términos indexados) de 3 a 6.
 - Introducción.
 - Descripción del área, métodos y técnicas.
 - Resultados.
 - Discusión.
 - Conclusión.
 - Agradecimientos y reconocimientos.
 - Referencias.
 - Cuadros.
 - Mapas o anexos diversos.

Nota: El título y subtítulo deberán estar en líneas diferentes sin sangrías. Se utilizarán altas y bajas; se escribirá con mayúsculas el carácter inicial y los nombres propios.

5. Se deben utilizar unidades del Sistema Internacional (SI).

Resumen

El resumen deberá ser claro, descriptivo y contener no menos de 800 ni más de 900 caracteres sin considerar los espacios para cada uno de los idiomas en que se presente. Se deberá incluir el resumen en español.

Es conveniente incluir en el resumen los resultados más significativos así como las principales conclusiones.

Cuadros

1. El autor deberá tener en cuenta las limitaciones en tamaño y presentación de la revista. Deberán evitarse cuadros largos, y exceder las dimensiones de una cuartilla (21 x 27.9 centímetros). El cambiar columnas y renglones puede reducir la dimensión del cuadro.
2. Los cuadros se enumeran de acuerdo a su secuencia en el texto y en números arábigos. El texto debe incluir la fuente de todos los cuadros.
3. Cada cuadro estará impreso en una cuartilla separada del texto.
4. Cada cuadro debe tener un título corto y autoexplicativo. El tipo de letra deberá ser el mismo que el utilizado en el texto (arial, 12 pts.) y colocarse al centro y arriba.
5. Los cuadros elaborados deberán ser propios con base en la información generada por los (as) autores (as). Si llegasen a utilizar información secundaria, deberá darse el crédito correspondiente a la fuente utilizada.

Ilustraciones

1. Todas las ilustraciones (mapas, líneas de dibujo y fotografías) deberán enviarse por separado, sin marco y ajustarse al tamaño de una cuartilla (21 x 27.9 cm).
2. Las ilustraciones deberán ser secuenciadas con números arábigos de acuerdo al texto. Las referencias deben ser hechas en el texto para cada ilustración.
3. Las ilustraciones que contengan texto deberán estar en Indian ink o en etiquetas impresas. Asegurarse que el tamaño del caracter sea lo bastante grande para permitir una reducción del 50% sin volverse ilegible. Los caracteres deberán estar en español, inglés y francés. Usar el mismo tipo de caracter y estilo de la revista.
4. Cada ilustración debe tener una leyenda.
5. Las fotografías sólo son aceptables si tienen un buen contraste e intensidad. Las copias deben ser nítidas y brillantes.
6. Pueden enviarse ilustraciones a color, pero deberá tomarse en cuenta que serán convertidas en escala de grises para su publicación.
7. El formato de entrega será tiff o eps en alta resolución (300 dpi a tamaño carta o proporcional para su manejo).

Referencias

1. Todas las publicaciones citadas a lo largo del documento deberán ser presentadas con datos en la lista de referencias al final del texto.

2. Dentro del texto, al referirse a un autor (as, es) deberá hacerse sin inicial seguido del año de publicación y, de ser necesario, por una referencia corta sobre las páginas. Ejemplo: “Desde que Martínez (2007) demostró que...”, “Esto coincide con resultados posteriores (Sánchez, 2009: 20-21)”.
3. Si la referencia que se indica en el texto es escrita por más de dos autores, el nombre del primer autor será seguido por “et al.” o “y colaboradores”.
4. La lista de referencias deberá indicarse en orden de acuerdo al apellido de el (as, os) autor (as, es), y cronológicamente por autor.
5. Usar el siguiente sistema para indicar las referencias:

a. De publicación periódica

Gligo, N., 1990, “Los factores críticos de la sustentabilidad ambiental del desarrollo agrícola”, *Comercio Exterior*, 40(12):135-142.

b. Editado en Simposium, edición especial etc, publicación en periódico

CIAT-UNEP, 1995, Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe, Documento de discusión, Taller regional sobre uso y desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad, PNUMA, México.

c. De libros

Sassen, S., 1999, *La ciudad global*, EUDEBA/Universidad de Buenos Aires, Argentina.

d. De un capítulo en libro

Muñoz, O., 1991, “El proceso de industrialización: teorías, experiencias y políticas”, en Sunkel, O., (comp.), *El desarrollo desde dentro*, Lecturas, núm. 71, FCE, México.

e. De tesis

Evangelista, O. y C. Mendoza, 1987, *Calendarios agrícolas en cuatro ejidos del Municipio de Coxquibui, Veracruz*, tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México.

f. De referencias de sitios

Banco Central de la República Argentina, 2005. “Entidades Financieras: Información por entidad”, disponible en <http://www.bcr.gov.ar/comunes/p0003.asp>, consultado el 23/01/2005. Fecha última actualización: 07/01/2005. Unión Cívica Radical: Comité Nacional (UCR Web). Disponible en: <http://wwwwww.ucr.org.ar/>, consultado el 28/10/2000.

g. De artículos de publicaciones periódicas en bases de datos

Schrader, A., 1999, "InternetCensorship: Issues for teacher-librarian", en *Teacher Librarian*, vol. 26, núm. 5, Academic Search Elite, pp. 8-12, disponible en <http://www.epnet.com/ehost/login.html>, consultado el 28/11/2000.

Para otros ver detalles en página web de la revista.

Fórmulas

1. Las fórmulas deberán ser escritas de acuerdo a los estándares de la revista. Dejar un espacio amplio alrededor de las fórmulas.
2. Los subíndices y superíndices deberán ser claros.
3. Los caracteres griegos y otros no latinos o símbolos escritos a mano deberán ser explicados e indicar su significado al margen de la página en donde aparecen por primera vez. Tener especial cuidado para mostrar claramente la diferencia entre un cero (0) y el caracter O y entre el 1 y el caracter I.
4. Para indicar fracciones simples, utilizar la diagonal (/) en lugar de una línea horizontal.
5. Enumerar, en paréntesis, las ecuaciones a la derecha. En general, sólo las ecuaciones explícitamente referidas en el texto, necesitan ser numeradas.
6. Se recomienda el uso de fracciones en lugar de signos de raíz.
7. Los niveles de significancia estadística que son mencionados sin más explicación son $P < 0.05 = *$, $P < 0.01 = **$ y $P < 0.001 = ***$
8. En las fórmulas químicas, las valencias de los iones deberán indicarse, por ejemplo, como Ca^{2+} y no como Ca^{++} .

Pie de página

1. Se recomienda hacer los pies de página a través de un procesador de textos.
2. En caso de utilizarlos, deberán numerarse en el texto, indicando el número como superíndice y que sean tan cortos como sea posible. El tamaño del carácter será de 8 pts.

Nomenclatura

1. Los autores y editores aceptarán las normas de nomenclatura biológica vigente.
2. Todos los seres vivos (cultivos, plantas, insectos, aves, mamíferos, etc.) deberán ser identificados por sus nombres científicos, con excepción del nombre común de animales domésticos.

3. Todos los seres vivos y otros compuestos orgánicos deberán ser identificados por sus nombres genéricos cuando son mencionados por primera vez en el texto. Los ingredientes activos de todas las formulaciones deberán ser igualmente identificadas.

Derechos de autor

1. Cuando el autor cite algún trabajo de otra persona o reproduzca una ilustración o tabla de un libro o artículo de revista debe estar seguro de no estar infringiendo los derechos de autor.
2. Aunque en general un autor puede citar de otro trabajo publicado, debe obtener permiso del poseedor del derecho de autor si se requiere reproducir tablas, placas u otras ilustraciones.
3. El material en trabajos no publicados o protegidos, no podrá ser publicado sin obtener el permiso por parte del poseedor de los derechos.
4. Deberá incluirse un agradecimiento por algún material autorizado para su publicación.

Criterios de ditaminación y pruebas del formato del trabajo

1. Una vez revisado, conforme a las políticas de la revista, cada texto será sometido para su dictamen al menos a dos revisores miembros del Comité Editorial. Para ser publicado cada trabajo deberá contar con dos dictámenes aprobatorios.
2. Si el documento cuenta con observaciones, se regresará el texto para la corrección. Una vez realizadas las correcciones conforme a los criterios de evaluación del Comité Editorial de la revista, se enviará una prueba de formación al autor correspondiente. Sólo los errores tipográficos serán corregidos; no se harán cambios o adiciones al documento.

Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente.
Revista electrónica
Se terminó de formar en marzo de 2020