

EL FRACKING Y SUS CONSECUENCIAS EN EL PAISAJE

FRACKING AND ITS CONSEQUENCES IN THE LANDSCAPE

Chan-Quijano José G.*, Torres-López Karla

Bracho-Ramírez Manuel¹

RESUMEN

La fractura hidráulica o fracking es una técnica que permite la extracción de gas y petróleo del subsuelo en yacimientos no convencionales. Sin embargo, esta extracción genera impactos negativos en los ecosistemas. Por esta razón, se aborda la contaminación que genera esta técnica y sus afectaciones a nivel de paisaje en tres posibles escenarios, así como la aclimatación y posibles respuestas de las especies vegetales.

Palabras Claves: fracking, paisaje, fisiología vegetal, conflictos socio-ambientales, lluvia ácida.

ABSTRACT

Hydraulic fracturing or fracking is a technique that allows the extraction of gas and oil from the subsoil in unconventional deposits. However, this extraction generates negative impacts on ecosystems. For this reason, the contamination generated by this technique and its effects at the landscape level are addressed in three possible scenarios, as well as the acclimatization and possible responses of plant species.

Keywords: fracking, landscape, plant physiology, socio-environmental conflicts, acid rain.

INTRODUCCIÓN

El fracking o fracturación/fractura hidráulica o estimulación hidráulica es una técnica para posibilitar o aumentar la extracción de gas y petróleo del subsuelo (Jackson et al., 2013; Blake, 2016). Esta fracturación llega entre los 2000 a 3000 metros de profundidad (Osborn et al., 2011; Tollefson, 2013).

Además, Moreu (2012), Santamaría-Arinas (2014) y Gutiérrez-Nájera (2015) mencionan que el fracking es un proceso mediante el cual se inyecta a un alto volumen de agua; entre 9,000 y 20,000 m³ por pozo, para fracturar (romper) la roca, abrir y agrandar las fracturas con objeto de que los hidrocarburos fluyan al interior del pozo.

De igual forma, para la construcción de estructuras para el desarrollo del fracking y de la extracción del petróleo se deben deforestar aproximadamente 1.5 a 2 hectáreas (Beltran, 1988; Broderick et al., 2011) - sin considerar la deforestación -, a nivel de paisaje la flora se ve afectada por los contaminantes generados por el *fracking*. Esta contaminación puede tener dos reacciones de toxicidad: 1) de corto plazo o agudos y 2) de largo plazo o crónicos, ambas pueden dañar la supervivencia, el crecimiento y el éxito reproductivo de las especies vegetales a diferentes niveles. Los efectos provocados por la toxicidad - sean agudos o crónicos - dañan directamente al ecosistema (Espina y Vanegas, 2005a).

Estos niveles de toxicidad derivan de los residuos químicos tóxicos como el ácido sulfhídrico, el dióxido de azufre, el metano e hidrocarburos ligeros que se volatilizan. Estas sustancias son liberadas a la atmósfera por la técnica del fracking y generan contaminación en el suelo, agua y aire, pudiendo incluso afectar a la salud humana (SEMARNAT, 2001; Colborn et al., 2011; Osborn et al., 2011; Jackson et al., 2013; Tollefson, 2013). También se genera dióxido de carbono, que, al ser liberado a la atmósfera, in-

¹ Universidad Autónoma de Guadalajara, Campus Tabasco. Prol. Paseo Usumacinta km 3.5, Fracc. El Country, C.P. 86039, Villahermosa, Tabasco, México. *Autor de correspondencia: jose.chan@uagtabasco.edu.mx

* JGCQ. Candidato a Doctor en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable, M.C. en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, Lic. en Manejo de Recursos Naturales. Profesor-investigador del Departamento de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Guadalajara, Campus Tabasco.

fluye en el cambio climático (Broderick et al., 2011). De igual forma el gas metano (CH₄) al ser liberado por el fracking contribuye a la formación del ozono troposférico que afectan al ambiente natural (Kim et al., 2013).

Estas sustancias al ser liberadas, en especial dióxido de azufre, al entrar en contacto con el agua se forma el trióxido de azufre y, al estar en contacto con la atmósfera y con el agua de las lluvias se forma la lluvia ácida (Beltran, 1988). Esto causa daños a las especies de vegetales y al paisaje en general; en las plantas hay daños visibles, pero se pueden estar dando otros daños dentro de su fisiología (Espina y Vanegas, 2005b). Por otro lado, el CH₄ al mezclarse con el aire provoca una reacción explosiva y a pesar que es considerado un gas no venenoso, puede causar la muerte por asfixia (Umland y Bellama, 2000).

Por lo tanto, estas sustancias generan contaminación atmosférica y a su vez estos contaminantes se van asentando en los suelos y sobre la vegetación (Carson, 2017), provocando daños ambientales a nivel de paisaje; el paisaje tiene elementos abióticos, bióticos y humanos que se ven involucrados en la contaminación (Checa-Artasu, 2016). Por lo tanto, se realizó una revisión sobre el fracking y las posibles consecuencias que puede provocar en tres paisajes de México, así como una breve descripción de los aspectos ecofisiológicos de las plantas.

METODOLOGÍA

Se utilizó las bases de datos de Springer, Dialnet, Nature, e-revistas, redalyc y SciELO, se realizó una búsqueda bibliográfica utilizando palabras clave como fracking en México, problemáticas del fracking, contaminación del paisaje, degradación del paisaje y suelos contaminados; esto arrojó un total de 215 documentos, entre artículos y libros que abarcarán la temática. De estos, se seleccionaron 60 documentos para el desarrollo del trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los datos obtenidos se desarrollan los siguientes apartados con el fin de dar una explicación sobre el fracking y sus consecuencias en el paisaje, así como la ecofisiología de las plantas como parte de su aclimatación a este tipo de ambientes.

ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS Y PAISAJE

Las respuestas ecofisiológicas de los organismos ante el estímulo de la contaminación se pueden estar dando a niveles celulares y subcelulares, además de la interrelación entre los organismos y el ambiente natural que lo rodea (ecofisiología). Es en este proceso donde se crean las integraciones simples o complejas que nos dan respuestas de acciones nocivas y niveles de toxicidad en los diferentes paisajes (Espina y Vanegas, 2005a, b).

De acuerdo con Lambers et al. (2008) y Espina y Vanegas (2005a) el enfoque ecofisiológico permite disponer de un amplio espectro de sensibilidad para analizar los diferentes aspectos de la contaminación en los diferentes ecosistemas; es decir, se puede evaluar la relación organismoambiente-contaminación, así como la distribución de las especies en los diversos ecosistemas (ya sean en desiertos, en bosques de pino encino y en selvas tropicales) y su capacidad de tolerar algunos contaminantes.

El paisaje se debe tener en cuenta ya que es el protagonista de la modificación del entorno natural en la explotación del petróleo. Checa-Artasu (2016) menciona que el protagonismo del paisaje va asociado a la convivencia con todas las fases del ciclo productivo de los hidrocarburos, pues existen daños ambientales.

Algunos de los daños ambientales en el paisaje son los niveles de contaminación en el aire, cambios en la calidad de los suelos, disminución de nutrimentos, degradación y cambios en el ecosistema, baja o escasa disponibilidad de agua y la contaminación del mismo (García-Salazar, 2016). Cuando los contaminantes generados por el fracking se encuentran en la atmósfera como cantidades de azufre, mercurio, óxido de nitrógeno (se produce al quemar el gas) y otras partículas, se depositan sobre las plantas, los sistemas acuáticos y sobre todo en el suelo, implicando la mortandad de la flora y fauna, provoca que los cuerpos de agua no puedan sostener a las poblaciones normales de peces. Asimismo, disminuye el rendimiento agrícola por la contaminación de los suelos y se corroen las rocas (Granados-Sánchez et al., 2010). Además de esto, también se producen derrames del crudo durante todo el proceso del fracking, así como por los transportistas de los residuos,

o de las mismas estructuras que no quedan bien ajustadas por un mal mantenimiento (Wiseman y Gradjan, 2012; Konschnik, 2014; de la Vega-Navarro y Ramírez-Villegas, 2015).

DERRAMES DE PETRÓLEO

Cuando hay un derrame de petróleo, según Toledo-Ocampo (1982) y Rogner (1997) durante su infiltración en el suelo, esta sustancia se mueve principalmente por su peso específico y se integra en el subsuelo como un cuerpo cuya forma depende de la cantidad y composición de las capas del suelo. Si la cantidad de petróleo o aceite rebasa la capacidad de acumulación del terreno, los hidrocarburos se infiltrarán hasta las aguas subterráneas, dispersándose en la superficie y difundiendo en el sentido del declive o corriente del agua.

Por otra parte, algunos minerales portadores de hierro pueden servir como catalizadores en la oxidación química (en zonas saturadas e insaturadas) de los contaminantes; para ello la movilidad de las partículas del catalizador son de gran importancia en el sistema del suelo ya que la eficiencia de la oxidación depende del contacto entre contaminante/catalizador/oxidante, esto variará por el grupo de suelo (Lemaire et al., 2013; Lim et al., 2016). Lo anterior podría ayudar en 1) el entendimiento de los contaminantes, 2) sus rutas de degradación y 3) la forma de asimilación por parte de las plantas. Aunado a esto, se podría generar información para cada uno de los contaminantes y los posibles daños que le estarían provocando a las especies de plantas, así como al ecosistema en general (Lemaire et al., 2013; Small et al., 2014). Esto puede estar creando una externalidad ambiental por la valoración económica de los costos ambientales a nivel de paisaje.

POSIBLES ESCENARIOS

Ahora bien, se tomaron como posibles escenarios tres ecosistemas: el desierto de Sonora, la selva tropical en la Península de Yucatán y un bosque de pino encino del municipio de Huayacocotla, Veracruz. En estas dos últimas (desierto de Sonora y bosque tropical de la Península de Yucatán) aún no se aplica la técnica del *fracking* por estar consideradas como zonas no convencionales; las características

geológicas de estos yacimientos hacen difícil la extracción, por lo que su producción no es económicamente rentable (Aguilera-Gómez, 2015; Lajous, 2014; de la Vega-Navarro y Ramírez-Villegas, 2015; Ocampo-Téllez, 2017). A pesar de ello, se pueden armar posibles escenarios de la problemática ambiental en estos tres ecosistemas a nivel de paisaje. El desierto de Sonora es rico y complejo por su gran variedad de especies de flora y fauna, así como por sus características geológicas, por lo que es considerado como un desierto subtropical.

Este desierto para México se divide en cuatro regiones: el Altiplano de Arizona; las Planicies de Sonora; la Costa Central del Golfo y el Valle del Río Colorado Bajo (Sánchez-Escalante, 2007). El ecosistema desértico de Sonora está fuertemente amenazado por disturbios antropogénicos, principalmente transformación a agricultura, praderas para uso pecuario, minería, urbanización y desarrollos costeros. Sus suelos son predominantemente arenosos y con una rica flora de plantas efímeras estacionalmente abundantes (Martínez-Yrizar et al., 2010).

A nivel de paisaje el desierto puede verse afectado por el *fracking*, pues el ecosistema es un sistema termodinámicamente abierto, por lo que mantiene un continuo intercambio de materia y energía con su entorno. Además, los contaminantes generados afectarán a los ecosistemas colindantes del desierto (Osborne, 2000; Chapin III et al., 2002), pues se generaría contaminación atmosférica, habría una mortandad alta de cactáceas y de las plantas en general. El suelo de los desiertos (rocosos y arenosos) se vería dañado afectando su biocenosis.

Los contaminantes tendrían un comportamiento distinto al de las zonas tropicales o de niebla, debido a las variaciones del clima del desierto. Este clima de acuerdo con Martínez-Yrizar et al., (2010) se caracteriza por presentar veranos muy calientes, inviernos benignos, alta variación a lo largo del año en la diferencia de temperatura día/noche y también alta variación en la cantidad de lluvia anual típicamente bimodal con picos en invierno y verano.

Aunado a esto, las concentraciones de contaminantes que se generen por el *fracking* se volatilizarán más rápido por las elevadas temperaturas, por lo que se depositarían en el suelo rápido. La filtración de los contaminantes sería más rápida y de forma vertical, esto debido a que el suelo del desierto es arenoso.

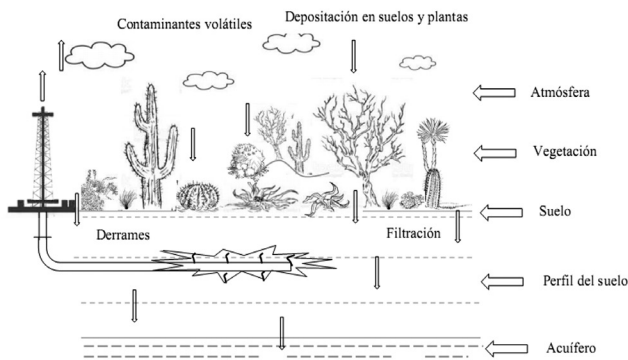


Figura 1. Posible escenario del comportamiento de los contaminantes en el desierto de Sonora. Fuente: Elaboración propia.

También las plantas se verían afectadas pues la estructura del suelo arenoso se estaría viendo dañada por los contaminantes (Figura 1; Toledo, 1982; Aguilera-Herrera, 1989; FAO 2006).

En la Península de Yucatán, el gas y petróleo que se llegase a extraer por el método fracking vendría acompañado de productos químicos. Al separar los hidrocarburos del agua (flow back o agua de retorno), se estaría realizando un coctel tóxico de imposible tratamiento y complicado depósito, por lo que se almacenaría en piletas a cielo abierto hasta que se evaporará o se inyectará de nuevo al subsuelo (PEMEX, 2007; 2014; de la Fuente y Llano, 2016).

Esto sería grave error en la Península pues sus suelos son kársticos en su totalidad (Pacheco y Vega, 2007; Bautista et al., 2015), y los contaminantes filtrarían más rápido hacia las aguas subterráneas por su alta permeabilidad, lo que se dispersarían por los canales y estructuras abiertas del subsuelo, lo que llegarían al mar (Herrera-Sansores, 2011; Tello-Taracena, 2011).

En este escenario, se estaría contando con una contaminación en el suelo, subsuelo, aguas superficiales y subterráneas (Poot-Angulo et al., 2015). Esto a su vez, estaría afectando a la vegetación del bosque tropical; la distribución de este bosque se encuentra principalmente en las partes central, oriental y meridional de la península de Yucatán (Islebe et al., 2015). Una de las características más visibles en la fisonomía de la vegetación de la Península de Yucatán es la variabilidad estacional en la cobertura foliar, así como su fenología (Valdéz-Hernández, 2015). Estos se pu-

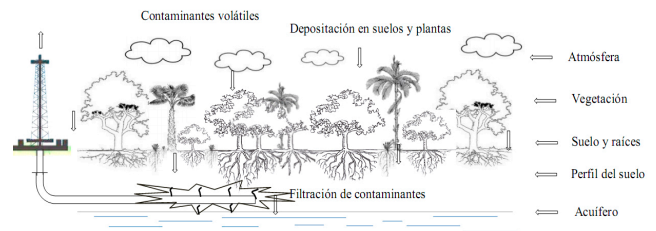


Figura 2. Posible escenario del comportamiento de los contaminantes en un bosque tropical de la Península de Yucatán. Fuente: Elaboración propia.

dieran estar afectando por los contaminantes volátiles pues los ciclos y el desarrollo de las plantas pueden disminuir. También, hay una baja disponibilidad de agua de calidad para las plantas lo que provocaría una muerte masiva de la vegetación (Figura 2).

De igual forma, se estaría afectado su dispersión, debido a la mortandad de las especies producto de la presencia de los contaminantes, y a la par, el paisaje junto con el ecosistema presentará daños (Meave et al., 2012).

Los bosques de pino-encino han sido registrados en 20 de las 32 entidades federativas en que se divide políticamente el país y capturan una buena parte de los bióxidos de carbono (Villaseñor, 2010). En la extracción por fracking en el bosque de pino-encino de Veracruz, se encontró un registro en el poblado de Huayacocotla (Bellinghausen, 2015). Esta actividad

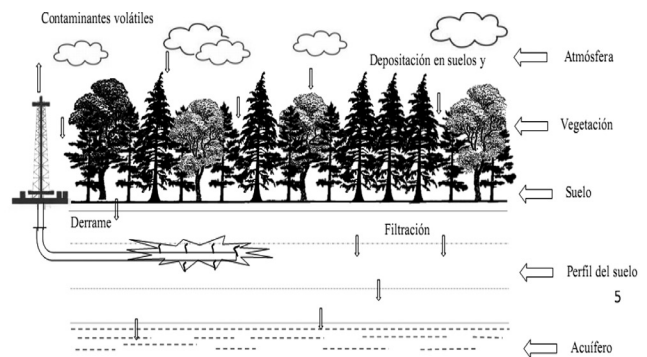


Figura 3. Posible escenario del comportamiento de los contaminantes en un bosque de pino-encino en Veracruz. Fuente: Elaboración propia.

afecta al ecosistema por todo lo expuesto anteriormente, pero a nivel de paisaje esta información es carente (Figura 3).

Lo que diferencia a cada uno de estos ecosistemas en sus afectaciones son el grupo de suelo, pues el contaminante se comporta de manera distinta dependiendo el suelo y no toda la vegetación tiene la capacidad de tolerar a los hidrocarburos del petróleo. Además de que las temperaturas de los distintos ecosistemas difieren y esto puede desarrollar los procesos químicos del contaminante más rápido (si son temperaturas más elevadas).

ACLIMATACIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES

Ahora bien, en el desierto de Sonora, en el bosque tropical de la Península de Yucatán y en el bosque de pino-encino de Huayacocotla, Veracruz existen especies de plantas que pueden tolerar a los hidrocarburos después de un periodo de tiempo (aclimatación y adaptación), es decir, pueden inhibir a los contaminantes haciéndolos menos tóxicos o inicios por procesos metabólicos, enzimáticos y por procesos de la exudación de las raíces que bioestimulan a los microorganismos de los suelos (hidrocarbonoclastas) como los *Achromobacter* (Alcaligenes) *xilosoxidans*, *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Brevibacterium luteum* y *Pseudomonas pseudoalcaligenes* que utilizan a los hidrocarburos como fuente de carbono y energía y a la vez apoyan a las especies vegetales a su supervivencia (Lambers et al., 2008; Adams et al., 2015; Cen-Cen et al., 2015; Burges et al., 2017).

Por otro lado, en todos los ecosistemas se debe monitorear los parámetros florísticos y estructurales, así como demográficos para reconocer a los bosques como proveedores de servicios ecosistémicos para aumentar los ingresos locales y para la obtención de madera a largo plazo de una manera sostenible. También, se podrían evaluar las condiciones de las industrias y sus afectaciones a nivel de paisaje en los ecosistemas, así como el porqué del uso del fracking.

FRACKING UN CHERNOBYL SOBRE RUEDAS

A pesar del impacto generado al ambiente y a la salud humana, la técnica del *fracking* en pozos no convencionales de gas y petróleo es de importancia

para la industria petrolera, pero ¿por qué se sigue utilizando? Quizá porque:

1. Genera un crecimiento económico al país y a la industria petrolera por la producción de petróleo y gas en menor tiempo.
2. Genera – a veces temporal – nuevos puestos de trabajo, ya que en esta actividad se requiere una gran cantidad de técnicos y operarios.
3. Aumenta – en la manufactura – los productos asociados a esta actividad.
4. “Decrece las emisiones globales de CO₂”, esto, cuando son yacimientos de gas.

Por otra parte, se reporta que se han estado utilizando menos cantidades de agua y químicos (Charry-Ocampo y Pérez, 2018), pero el impacto sobre el ambiente y la salud humana sigue siendo el mismo.

CONCLUSIONES

A pesar de que los posibles escenarios no son económicamente viables (desierto de sonora y Península de Yucatán), se abarcan por la conservación, por la importancia escénica, la económica y lo cultural que tienen estos ecosistemas en México. Además, el fracking puede afectar el paisaje a unos km hasta millones de hectáreas.

La aplicación del *fracking* en México aún es escasa; esto ambientalmente hablando es bueno, sin embargo, las pocas extracciones existentes están provocando graves daños a los ecosistemas y al paisaje en general. A su vez, los estudios a nivel de ecofisiología vegetal sobre las afectaciones de los contaminantes generados por el fracking son escasos, así como los daños provocados a los suelos.

La aclimatación de las plantas que lograsen tolerar a los hidrocarburos y a la técnica del fracking dependerá de su fenología y su desarrollo, ya que puede tardar de seis meses hasta uno o más años. Es por ello, de la importancia de estudiar la ecofisiología vegetal.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Mirna Valdez Hernández por sus observaciones y sugerencias para la mejora del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Adams, R.H., Álvarez-Ovando, A.L. y Castañón, G. (2015). Efecto de la concentración de hidrocarburos sobre la producción del pasto (*Brachiaria humidicola*) en Texistepec, Veracruz, Fyton. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 84, 222-232.
- Aguilera-Gómez, M. (2015). El petróleo mexicano: conflicto, esperanza y frustración. México: Programa Universitario de Estudios del Desarrollo Universidad Nacional Autónoma de México, Miguel Ángel Porrúa, Librero-Editor.
- Aguilera-Herrera, N. (1989). Tratado de edafología de México, tomo I. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T. y Aguilar, Y. (2015). Actualización del mapa de suelos del Estado de Yucatán México: enfoque geomorfológico y WRB. *Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(6), 303-315.
- Bellinghausen, H. (2015). Esos árboles están ahí desde que nació el mundo: ecocidio neoliberal. México: La Jornada. Recuperado de <https://goo.gl/SVH8X2>
- Beltran, J.E. (1988). Petróleo y desarrollo: la política petrolera en Tabasco. Villahermosa, Tabasco: Gobierno del Estado de Tabasco.
- Blake, U. (2016) The unconventional oil and gas process, and an introduction to exposure pathways. En: D.A. Kaden y T.L. Rose (Eds.), *Environmental and health issues in unconventional oil and gas development* (pp. 1-12). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc.
- Broderick, J., Wood, R., Gilbert, P., Sharmina, M., Anderson, K., Footitt, A., Glynn, S. y Nicholls, F. (2011). *Shale gas: a provisional assessment of climate change and environmental impacts*. Manchester, England: Tyndall Center, University of Manchester.
- Burges, A., Epelde, L., Blanco, F., Becerril, J.M. y Garbisu, C. (2017). Ecosystem services and plant physiological status during endophyte-assisted phytoremediation of metal contaminated soil. *Science of the Total Environment*, 584-585, 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.146>
- Carson, R. (2017). Primavera silenciosa. Ciudad de México: Ediciones Culturales Paidós.
- Cen-Cen, E.R., Gómez-Merino, F. y Martínez-Hernández, A. (2015). Tolerancia de Agave tequilana a altas concentraciones de cationes metálicos divalentes. *Polibotánica* 40, 163-182. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.11>
- Chapin III, F.S., Matson, P.A., Vitousek y P.M. (2002). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Nueva York, U.S.A.: Springer-Verlag.
- Chary-Ocampo, S. y A.J. Pérez. 2018. Efectos de la estimulación hidráulica (fracking) en el recurso hídrico: implicaciones en el contexto colombiano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28(1), 135-164. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2549>
- Checa-Artasu, M.M. (2016). El paisaje, concepto útil para el análisis territorial de los campos de petróleo en México. En: M.M. Checa-Artasu y R. Hernández-Franyuti (Coords.). *El petróleo en México sus impactos sobre el territorio* (pp. 75-118). Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.
- Colborn, T., Kwiatkowski, C., Schultz, K. y Bachran, M. (2011). Natural gas operations from a public health perspective. *Human and Ecological Risk Assessment*, 17(5), 1039-1056. <https://doi.org/10.1080/10807039.2011.605662>
- CONABIO (2010). El bosque mesófilo de montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- de la Fuente, A. y Llano, M. (2016). La fracturación hidráulica en la Sierra Norte de Puebla: una amenaza real para las comunidades. Ciudad de México: Fundar, Centro de Análisis e Investigación, A.C., Consejo Tiyat Tlali, Alianza Mexicana contra el Fracking.
- de la Vega-Navarro, A. y Ramírez-Villegas, J. (2015). El gas de lutitas (Shale Gas) en México. *Recursos, explotación, usos, impactos*. *Economía UNAM*, 12(34), 79-105. [https://doi.org/10.1016/S1665-952X\(15\)30006-2](https://doi.org/10.1016/S1665-952X(15)30006-2)
- Espina, S. y Vanegas, C. (2005a). Ecofisiología y contaminación. En: A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias* (pp. 53-78). Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Espina, S. y Vanegas, C. (2005b). Ecotoxicología y contaminación. En: A.V. Botello, J. Rendónvon Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias* (pp. 79-120). Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- FAO (2006). Base referencial mundial del recurso suelo. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, International Union of Soil Sciences, International Soil Reference and Information Centre.
- García-Salazar, E.M. (2016). Análisis integral alternativo de la exploración y explotación de Shale gas en Tamaulipas desde la perspectiva de la economía ecológica. En: M.M. Checa-Artasu y R. Hernández-Franyuti (Coords.). *El petróleo en México sus impactos sobre el territorio* (pp.119-138). Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G.F., Hernández-García, M.A. (2010). La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 187-206.
- Gutiérrez-Nájera, R. (2015). ¿Está preparado México para el fracking? *Reforma energética en México 2014*. *Sociedad y Ambiente*, 1(9), <https://doi.org/10.31840/sya.v0i9.1635>
- Herrera-Sansores, J.C. (2011). Recursos hídricos: hidrología subterránea. En: C. Pozo, N. ArmijoCanto y S. Calmé (Eds.). *Riqueza biológica de Quintana Roo: un análisis para su conservación*, tomo I (pp. 34-41). México: El Colegio de la Frontera Sur, Comisión Nacional y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Quintana Roo, Programa de Pequeñas Donaciones.
- Islebe, G.A., Sánchez-Sánchez, O., Valdéz-Hernández, M. y Weissenberger, H. (2015). Distribution of vegetation types. En: Islebe, G.A., Calmé, S., León-Cortés, J.L. y Schmook, B.(Eds.). *Biodiversity and conservation of the Yucatán Peninsula* (pp. 39-53). Switzerland: Springer International Publishing.
- Jackson, R.B., Vengosh, A., Darrah, T.H., Warner, N.R., Down, A., Poreda, R.J., Osborn, S.G., Zhao, K. y Karr, J.D. (2013) Increased stray gas abundance in a subset of drinking water wells near Marcellus shale gas extraction. *PNAS*, 110(28), 1-6. <http://doi.org/10.1073/pnas.1221635110>
- Kim, W.Y. (2013). Induced seismicity associated with fluid injection into a deep well in Youngstown, Ohio. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118, 3506-3518. <http://doi.org/10.1002/jgrb.50247>
- Konschnik, K.E. y Mark K.B. (2014). Shale gas development: a smart regulation framework. *Environmental Science and Technology*, 48(15), 8404-8416. <https://doi.org/10.1021/es405377u>

- Lajous, A. (2014). La industria petrolera mexicana: estrategias, gobierno y reformas. México: Fondo de la Cultura Económica, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- Lambers, H., Chapin III, F.S. y Pons, T.L. (2008). *Plant physiological ecology*. New York, U.S.A.: Springer Science Business Media
- Lemaire, J., Bués, M., Kabeche, T., Hanna, K. y Simonnot M.O. (2013). Oxidant selection to treat an aged PAH contaminated soil by in situ chemical oxidation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 1261-1268. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.09.018>
- Lim, M.W., Lau, E.V. y Poh, P.E. (2016). A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil - Present works and future directions. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 14-45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.023>
- Martínez-Yrizar, A., Felger, R.S. y Búrquez, A. (2010). Los ecosistemas terrestres: un diverso capital natural. En: F.E. Molina-Freaner y T.R. Van Devender (Eds.). *Diversidad biológica de Sonora* (pp. 129-156). México: Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Meave, J.A., Romero-Romero, M.A., Salas-Morales, S.H., Pérez-García, E.A. y Gallardo-Cruz, J.A. (2012). Diversidad, amenazas y oportunidades para la conservación del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca, México. *Ecosistemas*, Núm. 21(1-2), 85-100.
- Moreu-Carbonell, E. (2012). Marco jurídico de la extracción de hidrocarburos mediante fractura hidráulica (fracking). *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 3(2), 1-43.
- Ocampo-Téllez, E. (2017). Producción de petróleo de México: escenarios 2040. Programa Universitario de Estudios de Desarrollo Universidad Nacional Autónoma de México.
- Osborn, S.G., Vengosh, A., Warner, N.R. y Jackson, R.B. (2011). Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *PNAS*, 108(20), 8172-8176. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100682108>
- Osborne, P.L. (2000). *Tropical ecosystems and ecological concepts*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Pacheco, M.A. y Vega, F.J. (2007). Reseña geológica. En: L.M. Mejía-Ortíz (Ed.). *Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel* (pp. 33-42). México: Universidad de Quintana Roo, Plaza y Valdés Editores.
- PEMEX (2007). *Las reservas de hidrocarburos de México*. México: Petróleos Mexicanos Exploración y Producción.
- PEMEX (2014). *Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) del Proyecto Regional Poza Rica-Altamira y Aceite Terciario del Golfo 2013-2035*. México: Petróleos Mexicanos Exploración y Producción.
- Poot-Angulo, L., Leal-Bautista, R.M. y Casas-Beltrán, D.A. (2015). Los suelos como amortiguadores del transporte de contaminantes químicos al acuífero en la Riviera Maya, México. 2° Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Ingeniería Ciencia y Gestión Ambiental, A.C. Coyoacán, México.
- Rogner, H.H. (1997). An assessment of world hydrocarbon resources. *Annual Review of Energy and the Environment*, 22, 217-262. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.22.1.217>
- Sánchez-Escalante, J.J. (2007). Plantas nativas de Sonora: las plantas del desierto sonorense. *Revista Universidad de Sonora*, 19, 20-22.
- Santamaría-Arinas, R.J. (2014). Las claves jurídicas del debate sobre el fracking. *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 5(1), 1-38.
- SEMARNAT (2001). *Guía para la correcta selección y empleo de métodos de estimación de emisiones contaminantes*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte.
- Small, M.J., Stern, P.C., Bomberg, E., Christopherson, S.M., Goldstein, B.D., Israel, A.L., Jackson, R.B., Krupnick, A., Mauter, M.S., Nash, J., North, D.W., Olmstead, S.M., Prakash, A., Rabe, B., Richardson, N., Tierney, S., Webler, T., Wong-Parodi, G. y Zielinska, B. (2014). Risks and risk governance in unconventional shale development. *Environmental Science and Technology*, 48(15), 8289-8297. <https://doi.org/10.1021/es502111u>
- Tello-Taracena, H.A. (2011). Suelos. En: C. Pozo, N. Amijo-Canto y S. Calmé (Eds.). *Riqueza biológica de Quintana Roo: un análisis para su conservación*, tomo I (pp. 57-61). México: El Colegio de la Frontera Sur, Comisión Nacional y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Quintana Roo, Programa de Pequeñas Donaciones.
- Toledo-Ocampo, A. (1982). *Petróleo y ecodesarrollo en el sureste de México*. México: Centro de Ecodesarrollo.
- Tollefson, J. (2013) Gas drilling taints groundwater: chemical analysis links methane in drinking wells to shale-gas extraction. *Nature*, 498, 415-416.
- Umland, J.B. y Bellama, J.M. (2000). *Química general*. México: International Thomson Editores.
- Valdéz-Hernández, M. (2015). Vegetative and reproductive plant phenology. En: Islebe, G.A., Calmé, S., León-Cortés, J.L. y Schmoock, B. (Eds.). *Biodiversity and conservation of the Yucatán Peninsula* (pp. 57-96). Switzerland: Springer International Publishing.
- Valdéz-Hernández, M., González-Salvatierra, C., Reyes-García, C., Jackson, P.C. y Andrade, J.L. (2015). Physiological ecology of vascular plants. En: Islebe, G.A., Calmé, S., León-Cortés, J.L. y Schmoock, B. (Eds.). *Biodiversity and conservation of the Yucatán Peninsula* (pp. 97-129). Switzerland: Springer International Publishing.
- Valdéz-Hernández, M., Sánchez-Sánchez, O., Islebe, G.A., Snook, L.K. y Neigreiros-Castillo, P. (2014). Recovery and early succession after experimental disturbance in a seasonally dry tropical forest in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 334, 331-343. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.018>
- Villaseñor, J.L. (2010). *El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Wiseman, H. y Gradijan, F. (2012). *Regulation of shale gas development, including hydraulic fracturing*. Austin, Texas: Center for Global Energy, International Arbitration and Environmental Law, University of Texas School of Law.