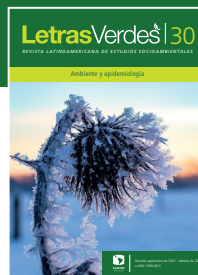





Miscelánea



Potencial social y ambiental de la industria eólica para una transición energética en América Latina

Wind Industry and Energetic Transition. Potential For Latin America

 Rubén-Manuel Zepeda-Cancino, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México, mvz.zepeda@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1586-7059

 Verónica Vázquez-García, autora de correspondencia, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México, wazquez@colpos.mx, orcid.org/0000-0002-0689-4397

Recibido: 22 de enero de 2021

Aceptado: 9 de junio de 2021

Publicado: 30 de septiembre de 2021

Resumen

Brasil, México y Uruguay han adoptado la energía eólica como estrategia para combatir el cambio climático. Sin embargo, sus experiencias son distintas y se encuentran poco documentadas. Este artículo analiza las ventajas y desventajas de la industria eólica con miras a su futura expansión en América Latina. La metodología consiste en sistematizar y analizar la bibliografía existente en castellano, portugués e inglés. Se identificaron cuatro ventajas de la energía eólica (baja huella de carbono, reducidos costos de producción, creación de empleos e ingresos por renta de tierras) y cinco desventajas (pérdida de cobertura forestal, impacto en aves y fuentes de agua, contaminación por derrames de aceite y desechos y afectaciones a la salud). Los desafíos de política pública para la región son: fomentar la investigación sobre los daños socioambientales de la energía eólica y diseñar herramientas para mitigarlos; desarrollar la cadena completa de suministros de manufactura e insumos mediante la innovación tecnológica; repartir equitativamente los beneficios de la industria eólica entre la población local y priorizar la necesidad pública de electricidad, por encima de intereses privados. Mientras estos desafíos no sean asumidos plenamente, los proyectos eólicos seguirán formando parte de una estructura hegemónica que se autoproclama como la solución al cambio climático, pero que sigue manteniendo una lógica extractivista que no beneficia a la población.

Palabras clave: cambio climático; economía baja en carbono; energías renovables; huella de carbono; seguridad energética

Abstract

Brazil, Mexico and Uruguay have adopted wind energy as a means to fight climate change. However, their experiences are different and insufficiently documented. This paper analyzes the advantages and disadvantages of the wind industry in light of its future expansion in Latin America. The methodology consists of the systematization and analysis of literature written in Spanish, Portuguese and English. Four advantages and five disadvantages were identified. The advantages are wind energy's reduced carbon footprint, low production costs, the potential for job creation and income from land rentals, while the disadvantages are possible vegetation loss, impact on birds and water sources, oil and waste contamination and health damage. The challenges for public policy are: supporting research on the socioenvironmental impacts of the wind industry and designing tools for their mitigation; developing a full supply chain of materials through technological innovation; distributing the benefits of wind energy equally among the local population, and prioritizing public needs of electricity above the interest of the private sector. If these challenges are not fully met, wind energy projects will be part of a hegemonic structure that claims to solve the problems created by climate change, while in fact continuing to use an extractivist logic, incapable of benefitting people.

Key words: carbon footprint; climate change; energy security; low carbon economy; renewable energy



Introducción

El cambio climático es uno de los problemas más relevantes de la actualidad, por sus impactos en los recursos naturales, la biodiversidad, los procesos productivos, la infraestructura, la salud y, en general, el bienestar de la población. Su causa principal es el aumento en la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, producto de la actividad industrial de los últimos 150 años (IPCC 2014). Cerca del 65 % de las emisiones de GEI en el mundo corresponden al sector energético (Katinas, Marčiukaitis y Tamašauskienė 2016). Por tanto, la Organización de Naciones Unidas (ONU) ha señalado la necesidad de transitar hacia un modelo de desarrollo basado en energías renovables, que incremente el acceso de la población a fuentes asequibles, seguras, sostenibles y no contaminantes (Cecelski 2003; Burney et al. 2017). A esa iniciativa se sumó el histórico Acuerdo de París, firmado en 2016, que también reconoció la necesidad de reemplazar por energías renovables el modelo energético actual, basado en la quema de combustibles fósiles (Mazorra et al. 2017).

Entre todas las fuentes de energía renovable, la eólica es una de las que más se ha desarrollado en los últimos años, al pasar de 180 000 MW en 2010 a 622 000 MW en 2019. Los países con mayor capacidad de energía eólica instalada (MW) son China (210 478), Estados Unidos (103 584), Alemania (60 822), India (37 505) y España (25 553) (IRENA 2020). En América Latina, los esfuerzos son aún incipientes y se encuentran poco documentados, por lo que es necesario hacer una evaluación crítica de la creciente presencia de la industria eólica en el continente. A partir de una revisión de la literatura escrita en castellano, portugués e inglés, este artículo analiza las ventajas y las desventajas de la industria eólica para América Latina, con la finalidad de reducir sus limitaciones y potenciar sus beneficios a futuro.

La industria eólica: características generales

Un parque eólico tiene cuatro componentes: 1) turbinas, 2) caminos, 3) cableado y 4) subestaciones de transmisión. Las turbinas tienen la función de convertir la energía cinética del viento en electricidad (Martínez et al. 2009; Tabassum-Abbasi et al. 2014; Ledec, Rapp y Aiello 2011). El parque se construye en siete etapas: 1) extracción y procesamiento de materias primas, 2) transportación de estas, 3) manufactura de componentes, 4) transportación de estos, 5) construcción del parque, 6) operación y mantenimiento (20 a 25 años aproximadamente) y 7) desmantelamiento y eliminación de las turbinas (Han et al. 2009; Martínez et al. 2009; Mathew 2006). Antes de instalarlo, es necesario evaluar el potencial eólico, las condiciones de las vías de comunicación y la distancia de la red eléctrica (Han et al. 2009).

En América Latina, Brasil y México destacan por su capacidad de energía eólica instalada (Brasil, 15 364 MW; México, 6591 MW). Les siguen Chile (1620 MW), Argentina (1609 MW), Uruguay (1561 MW) y Costa Rica (411 MW) (IRENA 2020). Entre todos estos países, Uruguay es el que tiene la mayor capacidad instalada en relación con toda la energía generada (31 %) (MIEM 2019). Por su importancia en el sector, el análisis de las ventajas y las desventajas de la industria eólica para América Latina se centrará en estos tres países, excepto cuando sea necesario recurrir a otros por falta de información disponible.

Ventajas de la energía eólica

Reducción de la huella de carbono

La energía eólica no contamina el aire con desechos tóxicos como sí lo hacen las plantas termoeléctricas que requieren carbón o gas natural para operar. Su huella de carbono es menor en comparación con otras energías renovables y con las convencionales (tabla 1).

Tabla 1. Emisión de gases de efecto invernadero (GEI) de fuentes de energía renovable y convencional

Energía	Emisión de GEI
Renovable	gCO ₂ e/kWh
Eólica	5-52
Solar fotovoltaica	1-217
Biomasa	43-1731
Geotérmica	15-75
Marina	10-126
Convencional	
Carbón	692-1250
Gas natural	359-539

Fuente: elaboración propia a partir de Bhandary, Kumar y Mayer (2020); Kadiyala, Kommalapati y Huque (2020); Nugent y Sovacool (2014); Ortegón, Nies y Sutherland (2013); Paredes, Padilla-Rivera y Güereca (2019); Rodrigues et al. (2018); Silva y Lerche (2019).

Sin lugar a dudas, la ventaja más importante de la energía eólica es su reducida huella de carbono, situación que ya ha beneficiado a España, país líder en el sector, que evitó la emisión de 382 000 000 de toneladas de CO₂ de 2000 a 2019 (AEE 2019). En América Latina, Brasil mitigó 50 000 000 de toneladas de CO₂ entre 2001 y 2016

(Rodrigues et al. 2018), mientras que en México se reducen 12 200 000 toneladas de CO₂ al año (AMDEE 2021). Ambos países contrastan con otros del continente. Por ejemplo, Ecuador, país donde 11 turbinas (15 MW) contribuyeron a reducir la módica cantidad de 35 000 toneladas de CO₂ al año (Regueiro y Chavez 2014).

Costos de producción y diversificación de la matriz energética nacional

La energía eólica también destaca por sus bajos costos de producción. En 2019 reportó el costo más bajo por unidad de energía eléctrica (USD0.053/kWh)¹ en comparación con la solar fotovoltaica (USD0.068/kWh) y de biomasa (USD0.066/kWh) (IRENA 2019a). México y Colombia presentan estimaciones parecidas. En México, la energía eólica tiene costos más bajos (USD\$85/MW) en comparación con la biomasa (USD\$131/MW), la energía marina (USD\$281/MW) y la solar fotovoltaica (US\$280/MW) (SENER 2012), mientras que en el país andino la energía eólica resultó ser menos costosa (USD\$82,7/MW)² en comparación con la biomasa (USD\$143/MW) (Bueno, Rodríguez Sarmiento y Rodríguez Sánchez 2016).

Los bajos costos han favorecido la diversificación de la matriz energética de los tres países seleccionados para el presente artículo, aunque de manera muy incipiente en el caso de México (tabla 2). Uruguay es líder mundial en la diversificación de su matriz energética, gracias al crecimiento sostenido de la energía eólica desde 2012 (Ardanche et al. 2018; Fornillo 2021).

Tabla 2. Consumo y producción de energía eléctrica y contribución de la energía eólica en Brasil, Uruguay y México

País	Consumo (*tep)	Producción (*tep)	Contribución de la energía eólica (%)
Brasil	254 000 000	294 000 000	7
Uruguay	4821	5227	8
México	210 000 000	151 000 000	0,9

*tep= tonelada equivalente de petróleo.

Fuente: elaboración propia a partir de MIEM (2019); EPE (2020) y SENER (2020).

Creación de empleos

Uno de los beneficios más mencionados de la industria eólica es la creación de empleos, particularmente durante la fase de diseño tecnológico y construcción del material. El *Green New Deal* presentado por Alexandra Ocasio-Cortez (2019) ante el

1 USD/kWh = costo de producción/generación promedio de electricidad en una hora al año.

2 USD/MW= costo de producción/capacidad de energía eléctrica.

Congreso de Representantes de Estados Unidos propone una transición energética socialmente justa, que implique la generación masiva de empleos ya no a través de la extracción de combustibles fósiles, sino del impulso a las energías renovables. En el caso de la energía eólica, la mayor parte de los empleos suelen concentrarse en la elaboración del material y la construcción del parque, más que en su operación (Slattery, Lantz y Johnson 2011; Martínez, Rivas y Vera 2019).

En América Latina, Brasil destaca por el impulso a la industria eólica nacional. Genera empleos tanto en la construcción del parque (47,9 %) como en la cadena de suministros (36,8 %) (Simas y Pacca 2014). Reporta 13,5 empleos por MW instalado y proyecta la creación de 200 000 más para 2026 (De Almeida y Azevedo 2019; Simas y Pacca 2014). En contraste, en México se contabilizan 10,4 empleos por MW, los cuales se caracterizan por ser poco remunerados y temporales (etapa de construcción) en un 97 % de los casos (Nahmad, Nahón y Langlé 2014; Martínez, Rivas y Vera 2019).

Cabe señalar que este análisis es muy preliminar. El indicador de empleos/MW es ambiguo porque cada contexto presenta condiciones diferentes. Los países exportadores de componentes eólicos, como Alemania, España y Dinamarca, concentran el 75 % de los empleos en el sector manufacturero (Blanco y Rodrigues 2009; Simas y Pacca 2014). Sin lugar a dudas, contar con una cadena nacional de suministro potencializa la generación de empleos y los beneficios económicos para el país (Leary, While y Howell 2012). Valga como ejemplo el caso de China, que ha generado empleos no solo en la construcción y operación, sino también en la investigación y la innovación tecnológica (Han et al. 2009). El país asiático concentra el 44 % de los empleos de la industria eólica mundial (IRENA 2019b).

Ingresos por renta de tierras

Los parques eólicos proporcionan un ingreso económico por la renta de los terrenos. Existen tres modalidades de pago: 1) por porcentaje de energía eólica facturada, 2) por superficie ocupada y 3) por capacidad instalada. Los ingresos por lo general son aportes económicos adicionales a la actividad principal de quienes rentan, situación que puede contribuir a la aceptación de la industria en zonas rurales de tradición agrícola o ganadera (Baxter, Morzaria y Hirsch 2013; Pepermans y Loots 2013; Copena y Simón 2018).

Los montos recibidos por concepto de renta de terrenos varían mucho entre sí. En Brasil se reportan ingresos entre 300 y 500 USD al mes; sin embargo, no se precisa si es por hectárea o MW (De Almeida y Azevedo 2019). En México los montos fluctúan entre 100 y 600 USD por hectárea al año (Juárez-Hernández y León 2014). En Estados Unidos, los pagos por la renta de la tierra van de 4000 a 8000 USD por MW

al año (Slattery, Lantz y Johnson 2011), mientras que en España se reportan pagos anuales de 3800 y 3200 USD por hectárea y por MW, respectivamente (Copena y Simón 2018). Las diferencias entre los países latinoamericanos en relación con Estados Unidos y España se deben, nuevamente, a que los países líderes que diseñan y manufacturan la tecnología pueden ofrecer mejores esquemas de pago a los propietarios.

Desventajas de la energía eólica

Pérdida de cobertura vegetal

La construcción de un parque eólico requiere eliminar la cobertura vegetal, lo que trae consigo fragmentación y pérdida del hábitat; disrupción, compactación y erosión del suelo; alteración de ecosistemas naturales y microclimas, y cambios en el comportamiento de plantas y animales (Arnett et al. 2007; Jaber 2013; Katsaprakakis 2012). En un estudio realizado en Canadá, se estimó que instalar una sola turbina genera una pérdida de hábitat de 1,2 hectáreas (Zimmerling et al. 2013). En el caso de México, los parques se han concentrado en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, reconocida por tener una de las selvas mejor conservadas del país (Lucio 2016). En esta región se ha reportado la pérdida de cobertura vegetal dentro de los polígonos donde están establecidos los parques, y sus habitantes destacan el continuo deterioro de los suelos por el derribo de árboles (Huesca-Pérez, Sheinbaum-Pardo y Köppel 2016).

Desplazamiento y muerte de aves

Las aves son los vertebrados más estudiados, por su potencial de ser desplazadas debido a la fragmentación del hábitat o de morir por colisión con las turbinas. Los datos para América Latina son muy preliminares, por no decir inexistentes. En la compilación realizada por Agudelo et al. (2021) solo se identificaron 10 estudios sobre muerte de aves, de los cuales solo uno reporta tasas de muerte. Se trata de un trabajo realizado en el Istmo de Tehuantepec, México, que reportó entre 9 y 12 aves muertas por MW al año (Cabrera-Cruz et al. 2020). Otras fuentes reportan la muerte de 3200 aves al año en un parque de la misma región, compuesto por 98 turbinas (Ledec, Rapp y Aiello 2011); y entre 6000 y 23 000 ejemplares de gaviotas de Franklin (*Leucophaeus pipixcan*) en riesgo de muerte por colisión al año (Villegas-Patracá, Cabrera-Cruz y Herrera-Alsina 2014; Villegas-Patracá y Herrera-Alsina 2015). En Brasil, los estudios sobre composición de comunidades de aves durante la construcción y operación de un parque eólico también reportan

resultados negativos, aunque preliminares (Justo Falavigna et al. 2021). Es evidente que se requiere mucha más investigación sobre el tema, dados los altos índices de biodiversidad en América Latina (UNDP 2010).

El debate sobre el desplazamiento de aves está presente en otras partes del mundo. En Wisconsin, Estados Unidos, se registró la reducción del 47 % de la población de aves rapaces (Garvin et al. 2011) y en Escocia y el norte de Inglaterra se reportó la disminución del 40 % y el 53 % de la agachadiza común (*Gallinago gallinago*) y el zarapito real (*Numenius arquata*), respectivamente, durante la fase de construcción de los parques (Pearce-Higgins et al. 2012). La tasa de reproducción del águila cola blanca (*Haliaeetus albicilla*) se redujo entre 10 % y 50 % dentro de un rango de 500 metros en Noruega (Dahl et al. 2012). En Texas, Estados Unidos, el porrón americano (*Aythya americana*) tuvo una reducción de 77 % dentro del área de construcción del parque, debido a la alteración hidrológica y a la perturbación de su hábitat (Lange, Ballard y Collins 2018). Por lo general, se afecta la abundancia de algunas especies dentro de un rango desde 500 metros hasta un kilómetro a la redonda. Los altos niveles de actividad y perturbación durante la construcción del parque pueden provocar que las aves abandonen la zona de manera definitiva (Pearce-Higgins et al. 2012; Pearce-Higgins et al. 2009).

Sobre la muerte por colisión, algunos autores argumentan que las aves tienen la capacidad de detectar las turbinas a tiempo, con el fin de evitar el impacto físico (Katsaprakakis 2012). Esto es justo lo que sucede en los parques ubicados en la costa de Dinamarca; las aves ajustan sus rutas de vuelo para evitar las turbinas (Sovacool, Lindboe y Odgaard 2008). Por el contrario, en diferentes regiones de Estados Unidos y del mundo se reportan tasas de muerte por colisión ya sea por turbina o MW generado, con una amplia variabilidad en los datos (tabla 3).

Tabla 3. Tasa de muerte de aves por colisión

País	Aves muertas por turbina/año
Navarra, España	0,1-0,6
Canadá	8,2
California, Estados Unidos	2,2
Washington, Estados Unidos	3,6
Bélgica	4-23
Costas de Holanda	56,2
	Aves muertas por MW/año
Oaxaca, México	9-12
Tennessee, Estados Unidos	14
Minnesota, Estados Unidos	6

Fuente: elaboración propia a partir de Cabrera-Cruz et al. (2020); Drewitt y Langston (2006); Kaldellis et al. (2016); NWCC (2010); Wang y Wang (2015); Zimmerling et al. (2013).

La variabilidad en la tasa de muerte de aves responde a los siguientes factores: la ubicación del parque en relación con la ruta de aves migratorias, la conducta de las aves (altura, maniobra y tiempo de vuelo), su comportamiento reproductivo y alimenticio, la dirección y fuerza de los vientos, la topografía donde se establece el parque, la luz que emiten las turbinas, y la distribución de estas (Santos et al. 2010; Tabassum-Abbasi et al. 2014; Wang y Wang 2015).

Impacto en fuentes de agua

Algunos estudios argumentan que la energía eólica tiene un reducido impacto sobre las fuentes de agua, en comparación no solo con la extracción de combustibles fósiles, que requiere perforaciones, sino también de otras fuentes de energía renovable como la solar y la nuclear. La energía eólica ocupa hasta 90 % menos de agua para funcionar adecuadamente (Saidur et al. 2011). Sin embargo, otros trabajos indican que sí hay afectaciones a los recursos hidrológicos debido a las cimentaciones de las turbinas (hechas a base de acero y cemento, con un volumen cercano a 270 metros cúbicos y 70 toneladas de peso), particularmente en zonas costeras o con sistemas lagunares cercanos. Los caminos también provocan la compactación del suelo y modifican las corrientes naturales de agua. En las costas de Texas, Estados Unidos, se perturbaron las cuencas hidrológicas al inhibir el flujo de escorrentía del agua (Lange, Ballard y Collins 2018). En las costas del estado de Ceará, en Brasil, se dañaron manglares, lagos y el flujo de agua en sistemas de ríos y lagos (Brannstrom et al. 2017). Ese es otro tema urgente, dada la importancia de los recursos hidrológicos de América Latina.

Contaminación por aceite y remoción de la infraestructura eólica

Son pocas las investigaciones que mencionan el impacto que tienen en el ecosistema las fugas de aceite de las turbinas (Harvey y Dew 2016). En el Istmo de Tehuantepec, México, la población local lo ha señalado reiteradamente, pero no hay estudios técnicos que comprueben la contaminación por aceite en cultivos agrícolas, recursos forestales, áreas de pastoreo y zonas de pesca (Huesca-Pérez, Sheinbaum-Pardo y Köppel 2016). Se estima que los rotores utilizan 300 litros de aceite por turbina y existe preocupación por el impacto acumulado de 22 parques eólicos en operación en esta parte del país (Agatón et al. 2016; Diego 2018).

Otro aspecto que ha sido poco estudiado es el futuro de la infraestructura eólica una vez concluida la vida útil del parque (Hall, João y Knapp 2020; Topham et al. 2019). Su desmantelamiento incluye la remoción de turbinas y estructuras subterrá-

neas (líneas de transmisión). Para la recuperación del suelo y la vegetación, hay que dejar pasar dos años después de retiradas las turbinas (Ortegon, Nies y Sutherland 2013). Los cimientos no se eliminan, simplemente se cubren con una capa de suelo orgánico de 30 centímetros (Martínez et al. 2009).

Las experiencias latinoamericanas en este tema son inexistentes, por lo que fue necesario recurrir a otros contextos para documentarlas. Solo se encontró un caso en el Reino Unido, en el que se reportaron afectaciones negativas en el suelo, el agua y las actividades ganaderas, producto de la remoción de infraestructura eólica (Wang, Wang y Smith 2015). En Estados Unidos, la tendencia ha sido utilizar las áreas ocupadas para la siguiente generación de proyectos, de manera que la restauración del suelo y la vegetación original queda descartada (Szumilas-Kowalczyk, Pevzner y Giedych 2020). En Europa continental se pronostica la acumulación de 3,5 kilotoneladas de concreto, acero y hierro provenientes de 34 000 turbinas o más, lo cual puede convertirse en un problema a partir del año 2025 (Topham et al. 2019; *Wind Europe* 2020). Entre las opciones que se manejan para disponer de estos desechos están el reúso, el reciclaje y la incineración (Tota-Maharaj y McMahan 2020).

Para proceder a la remoción de un parque, es necesario evitar temporadas de migración, reproducción y anidación de aves (Hernandez et al. 2021). Para los parques eólicos marinos se pronostica un impacto menor, porque los hábitats creados son favorables para la fauna (Topham et al. 2019). La mayor parte de los países del mundo cuentan con escasa o nula normatividad que regule este proceso (Hall, João y Knapp 2020; Topham et al. 2019).

Impactos en la salud

En diversos estudios se ha reportado que el ruido de las turbinas afecta la salud de las personas, aunque esto depende en gran medida de la distancia entre el parque y el asentamiento humano. El ruido puede ser de dos tipos: mecánico y aerodinámico. El primero se origina por el movimiento de las partes del propio aerogenerador, mientras que el segundo se atribuye a los cambios en los flujos del aire (Katinas, Marčiukaitis y Tamašauskienė 2016).

Los estudios sobre el tema para América Latina son inexistentes, a pesar de que en el Istmo de Tehuantepec, México, el ruido que generan las turbinas es una de las preocupaciones más apremiantes para personas que habitan a menos de 200 metros de los parques (Huesca-Pérez, Sheinbaum-Pardo y Köppel 2016; Juárez-Hernández y León 2014). En Estados Unidos y algunos países europeos se ha documentado baja calidad de sueño, estrés y dolor de cabeza en personas que viven a menos de dos kilómetros de los parques (Baxter, Morzaria y Hirsch 2013; Nissenbaum, Aramini y Hanning 2012; Leung y Yang 2012). En Holanda dichos padecimientos se manifiestan por

arriba de los 45 decibeles (Bakker et al. 2012; Pedersen et al. 2009) mientras que en Estados Unidos se encontraron resultados similares a partir de 40 decibeles (Knopper y Ollson 2011; Wang y Wang 2015). En Dinamarca el análisis se realizó en función de las siguientes condiciones: diabetes, problemas para dormir, depresión y embarazo. El único factor que reportó una asociación positiva con el ruido de las turbinas fue el uso de medicamentos para dormir y antidepresivos, particularmente en persona mayores de 65 años. Estos estudios no son concluyentes y se requiere incorporar otras variables para seguir profundizando en el tema (Poulsen et al. 2019; 2018a; 2018b).

¿Energía para quién? Desafíos para la política pública

Los gobiernos de Brasil, México y Uruguay se comprometieron a reducir sus emisiones de GEI para el 2030 en un 43, 25 y 24 %, respectivamente (Rodrigues et al. 2018; SEMARNAT 2020; World Bank 2016). Estos tres países han seguido estrategias parecidas para el desarrollo de la energía eólica, incentivadas no solo por los compromisos asumidos en el Acuerdo de París, sino también porque el funcionamiento de hidroeléctricas se ha visto comprometido por periodos prolongados de sequía (De Almeida y Azevedo 2019; Ardanche et al. 2018).

En Brasil y México se instalaron centrales eólicas piloto desde los años noventa. A inicios del siglo XXI, se publicaron los atlas que evidenciaron el potencial eólico del noreste brasileño y el Istmo de Tehuantepec en México (De Almeida y Azevedo 2019; Nahmad, Nahón y Langlé 2014). En Brasil, el atlas fue financiado con recursos públicos y en México, con recursos privados. El uruguayo data de 2008 y estuvo a cargo del sector académico nacional, con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (Ardanche et al. 2018).

Brasil y Uruguay crearon programas favorables a la transición energética (Programa de Energía Eólica, 2007 y Fuentes Alternativas de Energía Eléctrica, 2002, respectivamente). En México, la promulgación de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables (2008) dio impulso al sector (De Almeida y Azevedo 2019; Ardanche et al. 2018; Diego 2015). En los tres países se crearon esquemas favorables a la inversión privada, debido a que la energía eólica es costosa en su fase inicial y presenta flujos intermitentes y estacionales en el servicio. Se formularon modelos de contratos para considerar la producción promedio a lo largo de los años y permitir reajustes y compensaciones según el historial de generación. Lo anterior, junto al conocimiento del potencial eólico, atrajo inversión extranjera proveniente sobre todo de España, Dinamarca y Alemania (De Almeida y Azevedo 2019; Ardanche et al. 2018).

Una diferencia importante entre los tres países fueron las medidas proteccionistas implementadas. Brasil y Uruguay impusieron una cuota del 60 % y el 20 %, respectivamente, para la utilización de material fabricado dentro del país, lo cual condujo

al desarrollo tecnológico, la formación de recursos humanos y la generación de empleos a escala local (Fornillo 2021; Aquino et al. 2014). En contraste, la infraestructura utilizada en México en su mayoría es importada de España; la industria eólica del país azteca es muy incipiente (Martínez, Rivas y Vera 2019).

También hay diferencias importantes en términos de quién se beneficia de la energía generada. En Uruguay y Brasil, la energía eólica es comprada por una empresa estatal que luego la distribuye a la población. En el noreste de Brasil, el 57 % de la energía que llega a los hogares de 50 000 000 de personas proviene de fuentes eólicas (Fornillo 2021; Rodrigues et al. 2018; Regueiro y Chavez 2014). Por el contrario, la modalidad de autoabastecimiento predominante en México privilegia la generación de energía eólica por y para empresas privadas de gran capital (CEMEX, Nestlé, Wal-Mart y Bimbo) (Juárez-Hernández y León 2014; Rodríguez Padilla 2016; SENER 2016). No es de sorprenderse que esa carencia en el diseño de la política pública haya ocasionado conflictos con las comunidades donde se instalan las turbinas. El gobierno mexicano ha respondido solicitando no solo una Manifestación de Impacto Ambiental, sino evaluaciones de impacto social, así como apego al Convenio de la Organización Internacional del Trabajo que estipula la necesidad de hacer consultas previas, libres e informadas en zonas habitadas por pueblos originarios. Sin embargo, los cerca de 22 parques eólicos del Istmo de Tehuantepec ya fueron instalados con un enfoque de arriba hacia abajo, sin recuperar el sentir de la población, mayoritariamente indígena (Zárate-Toledo, Patiño y Fraga 2019).

Otros desafíos de política pública presentes en la región tienen que ver con la distribución desigual de los beneficios y la pérdida de acceso a zonas de cultivo, pastoreo y aprovechamiento de recursos naturales en las comunidades donde se instalan los parques (Nahmad, Nahón y Langlé 2014; Brown 2011). En relación con el primer punto, es necesario rescatar el proyecto de Cajamarca, Perú, que apostó por mejorar el ingreso familiar, los servicios de educación y salud, y el acceso de la población a la electricidad (Ferrer-Martí et al. 2012). En relación con el segundo, trabajos realizados en el Istmo de Tehuantepec, México, y Ceará, Brasil, reportan daños en tierras de cultivo, pastoreo y fuentes de agua, que dificultan la convivencia social dentro de las comunidades (Brown 2011; Gorayeb et al. 2016; Gorayeb et al. 2018; Juárez-Hernández y León 2014; Howe, Boyer y Barrera 2015; Huesca-Pérez, Sheinbaum-Pardo y Köppel 2016).

Conclusiones

A escala global, la energía eólica destaca por su contribución a la transición energética, cada vez más necesaria ante escenarios extremos de cambio climático. En América Latina, los principales productores de energía eólica son Brasil (15 364 MW) y

México (6591 MW), mientras que Uruguay es reconocido por la diversificación de su matriz energética y la alta contribución a esta por parte de la energía eólica (un tercio de la capacidad eléctrica instalada). El presente artículo se propuso analizar las ventajas y las desventajas que trae consigo la expansión de la energía eólica en América Latina, poniendo particular énfasis en las experiencias de estos tres países.

La revisión de literatura arrojó cuatro ventajas y cinco desventajas de la industria eólica. Las primeras son la baja huella de carbono, los reducidos costos de producción, la creación de empleos y los ingresos por renta de tierras. Las desventajas incluyen la pérdida de cobertura forestal, el impacto en aves y fuentes de agua, la contaminación por derrames de aceite y desechos, y los daños a la salud.

La energía eólica presenta mayores ventajas ambientales y económicas que todas las demás, sean renovables o convencionales. Su huella de carbono es menor (5-52 gCO₂e/kWh) y tiene costos más bajos en la generación de energía eléctrica (USD0.053/kWh), situación que favorece la diversificación de la matriz energética. Lo anterior la ha convertido en una de las herramientas más importantes para cumplir con los compromisos asumidos en el Acuerdo de París por cada uno de los países de la región. Sin embargo, la contribución de la energía eólica a la generación de energía eléctrica nacional presenta mayores avances en Brasil y Uruguay que en México. En los dos países sudamericanos, la política pública favorece el desarrollo de manufactura y prioriza la cobertura del servicio a la población, mientras que en México no se cuenta con una industria nacional y la energía eólica que se produce se dirige sobre todo al sector privado.

La generación de empleos se concentra en la etapa de construcción de los parques, particularmente en el caso de México, país importador de infraestructura eólica. Por el contrario, las medidas proteccionistas desarrolladas por Brasil han permitido una mayor creación de empleos, con proyecciones de hasta 200 000 nuevas plazas para 2026.

Con respecto a los ingresos por la renta de la tierra, se identificaron diferencias importantes entre América Latina, Europa y Estados Unidos. Los países que concentran la producción de tecnología tienen mayores posibilidades de ofrecer mejores esquemas de pago a los propietarios de la tierra.

La comparación entre el Norte Global y América Latina permitió constatar que los daños socioambientales de la industria eólica están muy poco documentados en nuestro continente. Pareciera que la pérdida de cobertura vegetal, la reducción del número y la muerte de aves, el impacto en las fuentes de agua y las afectaciones a la salud fueran preocupaciones exclusivas de países desarrollados. Un importante reto para la política pública de la región latinoamericana es fomentar la investigación en todas estas áreas, con el fin de diseñar medidas de mitigación que minimicen los efectos negativos de la industria eólica.

Otro reto se refiere a la necesidad de desarrollar la cadena completa de suministros de insumos, mediante la innovación tecnológica, como ya lo hace China. Ade-

más, la inserción de la industria eólica en el continente latinoamericano tiene que tomar en cuenta factores de justicia social, en dos aspectos principales. El primero es garantizar beneficios equitativos para la población en el sitio donde se instala el parque; el segundo es priorizar y asegurar la demanda energética del país por encima de intereses privados. En el caso de México y Brasil, se encontraron estudios sobre conflictos entre comunidades afectadas por la instalación de parques y las empresas a cargo de operarlos. Esa situación apunta a la necesidad de que en toda intervención se realicen las consultas estipuladas por el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), o que se diseñen herramientas parecidas, en caso de que no tratarse de pueblos originarios.

Mientras esos desafíos no sean asumidos plenamente por los gobiernos de la región, los que hasta ahora se conocen como proyectos eólicos seguirán formando parte de una estructura hegemónica que se autoproclama como la solución a los problemas ambientales, pero que continúa utilizando una lógica extractivista. Para aprovechar a plenitud los beneficios ambientales y sociales que ofrece la industria eólica, es indispensable revertir esa situación.

Bibliografía

- AEE (Asociación Empresarial Eólica). 2019. *Estudio macroeconómico del impacto del sector eólico en España*. Madrid: Asociación Empresarial Eólica.
<https://bit.ly/3lNX6zn>
- AMDEE (Asociación Mexicana de Energía Eólica). 2021. “Desarrollo y beneficios”,
<https://bit.ly/3n32RZx>
- Agatón, Gustavo, Agustín Santiago, José Maclovio Sautto Vallejo y Alfredo Montaña. 2016. “Estudio de impacto ambiental, económico y social en la región del istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México, debido a la instalación de parques eólicos”. *Tlamati 7.1*: 14-21. <https://bit.ly/3BQHWip>
- Agudelo, Sofía M., Todd J. Mabee, Rosa Palmer y Ryan Anderson. 2021. “Post-Construction Bird and Bat Fatality Monitoring Studies at Wind Energy Projects in Latin America: A Summary and Review”. *Heliyon 7*(6): e07251. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07251>
- Aquino, Alberto, Alex Araújo, Janardan Rohatgi y Oyama de Oliveira Filho. 2014. “Development of the Wind Power in Brazil: Political, Social and Technical Issues”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 39*: 828-834. doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.086
- Ardanche, Melissa, Mariela Bianco, Claudia Cohanoff, Soledad Contreras, María Goñi, Lucía Simón y Judith Sutz. 2018. “The Power of Wind: An Analysis of a Uruguayan Dialogue Regarding an Energy Policy”. *Science and Public Policy 45* (3): 351-360. <https://doi.org/10.1093/scipol/scx041>

- Arnett, Edward B., Douglas B. Inkley, Douglas H. Johnson, Ronald P. Larkin, Stephanie Manes, Albert M. Manville, Russ Mason, Michael Morrison, M. Dale Strickland y Robert Thresher. 2007. *Impacts of Wind Energy Facilities on Wildlife and Wildlife Habitat*. Estados Unidos: The Wildlife Society. <https://bit.ly/3DRbNIc>
- Bakker, Roel H., Eja Pedersen, Frits van den Berg, Roy E. Stewart, W. Lok, y Jelte Bouma. 2012. "Impact of Wind Turbine Sound on Annoyance, Self-Reported Sleep Disturbance and Psychological Distress". *Science of the Total Environment* 425: 42-51. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.005
- Baxter, Jamie, Rakhee Morzaria y Rachel Hirsch. 2013. "A Case-Control Study of Support/Opposition to Wind Turbines: Perceptions of Health Risk, Economic Benefits, and Community Conflict". *Energy Policy* 61: 931-943. doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.050
- Bhandari, Ramchandra, Bhunesh Kumar y Felix Mayer. 2020. "Life Cycle Greenhouse Gas Emission from Wind Farms in Reference to Turbine Sizes and Capacity Factors". *Journal of Cleaner Production* 277 (123385). doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123385
- Blanco, Maria Isabel, y Glória Rodrigues. 2009. "Direct Employment in the Wind Energy Sector: An EU Study". *Energy Policy* 37 (8): 2847-2857. doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.049
- Brannstrom, Christian, Adryane Gorayeb, Jocicléa de Sousa Mendes, Caroline Loureiro, Antonio Jeovah de Andrade Meireles, Edson Vicente da Silva, Ana Larissa Ribeiro de Freitas y Rafael Fialho de Oliveira. 2017. "Is Brazilian Wind Power Development Sustainable? Insights from a Review of Conflicts in Ceará State". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67: 62-71. doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.047
- Brown, Keith Brower. 2011. "Wind Power in Northeastern Brazil: Local Burdens, Regional Benefits and Growing Opposition". *Climate and Development* 3 (4): 344-360. doi.org/10.1080/17565529.2011.628120
- Bueno, Maximiliano, Luis Carlos Rodríguez Sarmiento y Patricia Jisette Rodríguez Sánchez. 2016. "Costs Analysis of Electric Generation from Renewable Sources in the Colombian Electricity System". *Ingeniería y Desarrollo* 34 (2): 397-419. doi.org/10.14482/inde.34.2.7282
- Burney, Jennifer, Halimatou Alaofé, Rosamond Naylor y Douglas Taren. 2017. "Impact of a Rural Solar Electrification Project on the Level and Structure of Women's Empowerment". *Environmental Research Letters* 12 (9): 095007. doi.org/10.1088/1748-9326/aa7f38
- Cabrera-Cruz, Sergio A., Juan Cervantes-Pasqualli, Montserrat Franquesa-Soler, Oscar Muñoz-Jiménez, Guillermo Rodríguez-Aguilar y Rafael Villegas-Patracá. 2020. "Estimates of aerial vertebrate mortality at wind farms in a bird migration corridor and bat diversity hotspot". *Global Ecology and Conservation* 22: e00966. doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00966
- Cecelski, Elizabeth. 2003. *Energy, Poverty, and Gender. Enabling Equitable Access to Rural Electrification: Current Thinking on Energy, Poverty, and Gender*. Washington D.C.: The World Bank. <https://bit.ly/3vk0i98>

- Copena, Damián, y Xavier Simón. 2018. "Wind Farms and Payments to Landowners: Opportunities for Rural Development for the Case of Galicia". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 95: 38-47. doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.043
- Dahl, Espen Lie, Kjetil Bevanger, Torgeir Nygård, Eivin Røskoft y Bård G. Stokke. 2012. "Reduced Breeding Success in White-Tailed Eagles at Smøla Windfarm, Western Norway, Is Caused by Mortality and Displacement". *Biological Conservation* 145 (1): 79-85. doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.012
- Diego, Roberto. 2015. "Energía limpia o energía perversa: actores sociales y parques eólicos en Dinamarca y en el Istmo de Tehuantepec". *Desarrollo Sustentable: Enfoques, Políticas, Gestión y Desafíos* 1: 421-442.
- Diego, Roberto. 2018. "Política gubernamental vs. política pública: avatares de los parques eólicos en el Istmo de Tehuantepec". *Revista Problemas del Desarrollo* 49 (194). doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2018.194.61586
- De Almeida, Juliana, Yanaguizawa Lucena y Klayton Ângelo Azevedo Lucena. 2019. "Wind Energy in Brazil: An Overview and Perspectives under the Triple Bottom Line". *Clean Energy* 3 (2): 69-84. doi.org/10.1093/ce/zkz001
- Drewitt, Allan L., y Rowena H. W. Langston. 2006. "Assessing the Impacts of Wind Farms on Birds". *Ibis* 148: 29-42. doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). 2020. *Balance Energético Nacional*. Brasil: Ministerio de Minas e Energía.
- Ferrer-Martí, Laia, Anna Garwood, José Chiroque, Benito Ramirez, Oliver Marcelo, Marianna Garfí y Enrique Velo. 2012. "Evaluating and Comparing Three Community Small-Scale Wind Electrification Projects". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (7): 5379-5390. doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.015
- Fornillo, Bruno. 2021. "Energy Transition in Uruguay: Market Dominance or Public-Social Power?". *Ambiente & Sociedade* 24. https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc-20190229r1vu202111de
- Garvin, Julia C., Christopher S. Jennelle, David Drake y Steven M. Grodsky. 2011. "Response of Raptors to a Windfarm". *Journal of Applied Ecology* 48 (1): 199-209. doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01912.x
- Goarayeb, Adryane, Christian Brannstrom, Antonio Jeovah de Andrade Meireles y Jocicléa de Sousa Mendes. 2018. "Wind Power Gone Bad: Critiquing Wind Power Planning Processes in Northeastern Brazil". *Social Science* 40: 82-88. doi.org/10.1016/j.erss.2017.11.027
- Goarayeb, Adryane, Jocicléa de Sousa Mendes, Antonio Jeovah de Andrade Meireles, Christian Brannstrom, Edson Vicente da Silva y Ana Larissa Ribeiro de Freitas. 2016. "Wind-Energy Development Causes Social Impacts in Coastal Ceará State, Brazil: The Case of the Xavier Community". *Journal of Coastal Research* 75 (sp1): 383-387. doi.org/10.2112/SI75-077.1
- Hall, Rebecca, Elsa João y Charles W. Knapp. 2020. "Environmental Impacts of Decommissioning: Onshore versus Offshore Wind Farms". *Environmental Impact Assessment Review* 83: 106404. doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106404

- Han, Jingyi, Arthur P. J. Mol, Yonglong Lu y Lei Zhang. 2009. "Onshore Wind Power Development in China: Challenges behind a Successful Story". *Energy Policy* 37 (8): 2941-2951. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.03.021>
- Harvey, Nick, y Romana E. C. Dew. 2016. "Coastal Impact of Onshore Wind Farms in Australia". *Journal of Coastal Research* 75 (sp1): 992-996. doi.org/10.2112/SI75-199.1
- Hernandez, C. Mauricio, Milad Shadman, Mojtaba Maali Amiri, Corbiniano Silva, Segen F. Estefen y Emilio La Rovere. 2021. "Environmental Impacts of Offshore Wind Installation, Operation and Maintenance, and Decommissioning Activities: A Case Study of Brazil". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 144: 110994. doi.org/10.1016/j.rser.2021.110994
- Howe, Cymene, Dominic Boyer y Edith Barrera. 2015. "Los márgenes del Estado al viento: autonomía y desarrollo de energías renovables en el sur de México". *The Journal of Latin American and Caribbean Anthropology* 20 (2): 285-307. doi.org/10.1111/jlca.12149
- Huesca-Pérez, María Elena, Claudia Sheinbaum-Pardo y Johann Köppel. 2016. "Social Implications of Siting Wind Energy in a Disadvantaged Region. The Case of the Isthmus of Tehuantepec, Mexico". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58: 952-965. doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.310
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. *Cambio climático 2014. Informe de síntesis*. Ginebra: The Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://bit.ly/3pbLLv7>
- IRENA (International Renewable Energy Agency). 2020. *Renewable Capacity Statistics 2020*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. <https://bit.ly/2YVPRwZ>
- IRENA (International Renewable Energy Agency). 2019a. *Renewable Power Generation Costs in 2019*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. <https://bit.ly/3vo1QiI>
- IRENA (International Renewable Energy Agency). 2019b. *Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2019*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. <https://bit.ly/3FXOf6w>
- Jaber, Suaad. 2013. "Environmental Impacts of Wind Energy". *Journal of Clean Energy Technologies* 1 (3): 251-254. <https://doi.org/10.7763/JOCET.2013.V1.57>
- Juárez-Hernández, Sergio, y Gabriel León. 2014. "Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social". *Problemas del Desarrollo* 45 (178): 139-162. [doi.org/10.1016/S0301-7036\(14\)70879-X](https://doi.org/10.1016/S0301-7036(14)70879-X)
- Justo Falavigna, Tamara, Daniel Pereira, Matheus Lara Rippel y Maria Virginia Petry. 2020. "Changes in Bird Species Composition after a Wind Farm Installation: A Case Study in South America". *Environmental Impact Assessment Review* 83: 106387. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106387>
- Kadiyala, Akhil, Raghava Kommalapati y Ziaul Huque. 2016. "Evaluation of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Different Biomass Feedstock Electricity Generation Systems". *Sustainability* 8 (1181). doi.org/10.3390/su8111181

- Kaldellis, John K., Dimitrios Apostolou, Marina Kapsali y Emilia Kondili. 2016. "Environmental and Social Footprint of Offshore Wind Energy. Comparison with Onshore Counterpart". *Renewable Energy* 92: 543-556.
doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.018
- Katinas, Vladislovas, Mantas Marčiukaitis y Marijona Tamašauskienė. 2016. "Analysis of the Wind Turbine Noise Emissions and Impact on the Environment". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58: 825-831. doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.140
- Katsaprakakis, Dimitris Al. 2012. "A Review of the Environmental and Human Impacts from Wind Parks. A Case Study for the Prefecture of Lasithi, Crete". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (5): 2850-2863. doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.041
- Knopper, Loren D., y Christopher A. Ollson. 2011. "Health Effects and Wind Turbines: A Review of the Literature". *Environmental Health* 10 (1): 1-10.
doi.org/10.1186/1476-069X-10-78
- Lange, Corey J., Bart M. Ballard y Daniel P. Collins. 2018. "Impacts of Wind Turbines on Redheads in the Laguna Madre". *The Journal of Wildlife Management* 82 (3): 531-537. doi.org/10.1002/jwmg.21415
- Leary, Jon, Aidan While y Robert Howell. 2012. "Locally Manufactured Wind Power Technology for Sustainable Rural Electrification". *Energy Policy* 43: 173-183.
doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.053
- Ledec, George C., Kennan W. Rapp y Robert G. Aiello. 2011. *Greening the Wind: Environmental and Social Considerations for Wind Power Development*. Washington D.C.: The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8926-3>
- Leung, Dennis, y Yuan Yang. 2012. "Wind Energy Development and Its Environmental Impact: A Review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (1): 1031-1039.
doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.024
- Lucio, Carlos. 2016. *Conflictos socioambientales, derechos humanos y movimiento indígena en el Istmo de Tehuantepec*. Zacatecas: Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Martínez, Eduardo, Luis Arturo Rivas y Paola Selene Vera. 2019. "El sector eólico en México y España". *Perfiles Latinoamericanos* 27 (53): 1-21.
doi.org/10.18504/pl2753-002-2019
- Martínez, Eduardo, Adán Sanz, Stefano Pellegrini, Emilio Jiménez y Julio Blanco. 2009. "Life Cycle Assessment of a Multi-Megawatt Wind Turbine". *Renewable Energy* 34 (3): 667-673. doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.020
- Mathew, Sathyajith. 2006. *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. Holanda: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mazorra, Javier, Julio Lumbreras, Luis Fernández y Candela De la Sota. 2017. "Gender, Climate Change and Energy Access in Developing Countries: State of the Art". *En Understanding Climate Change through Gender Relations*, editado por Susan Buckingham y Virginne Le Masson, 123-140. Londres / Nueva York: Routledge / Taylor & Francis.
- MIEM (Ministerio de Industria, Energía y Minería). 2019. *Balance energético 2019*. Uruguay: MIEM. <https://bit.ly/3BRmpGB>

- Nahmad, Salomón, Abraham Nahón y Rubén Langlé. 2014. *La visión de los actores sociales frente a los proyectos eólicos del Istmo de Tehuantepec*. México D.F.: CIESAS.
- Nissenbaum, Michael A., Jeffery J. Aramini y Christopher D. Hanning. 2012. “Effects of Industrial Wind Turbine Noise on Sleep and Health”. *Noise and Health* 14 (60): 237-243. doi.org/10.4103/1463-1741.102961
- Nugent, Daniel, y Benjamin K. Sovacool. 2014. “Assessing the Lifecycle Greenhouse Gas Emissions from Solar PV and Wind Energy: A Critical Meta-Survey”. *Energy Policy* 65: 229–244. doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.048
- NWCC (National Wind Coordinating Collaborative). 2010. *Wind Turbine Interactions with Birds, Bats, and their Habitats: A Summary of Research Results and Priority Questions*. Estados Unidos: National Wind Coordinating Collaborative. <https://bit.ly/3C3oyyM>
- Ocasio-Cortez, Alexandra. 2019. “Green New Deal. Resolutivo”. Estados Unidos: Congreso de los Estados Unidos. <https://bit.ly/3lPwNcb>
- Ortegon, Katherine, Loring F. Nies y John W. Sutherland. 2013. “Preparing for End of Service Life of Wind Turbines”. *Journal of Cleaner Production* 39: 191-199. doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.022
- Paredes, María Guadalupe, Alejandro Padilla-Rivera y Leonor Patricia Güereca. 2019. “Life Cycle Assessment of Ocean Energy Technologies: A Systematic Review”. *Journal of Marine Science and Engineering* 7(9). doi.org/10.3390/jmse7090322
- Pearce-Higgins, James W., Leigh Stephen, Andy Douse y Rowena H. W. Langston. 2012. “Greater Impacts of Wind Farms on Bird Populations during Construction than Subsequent Operation: Results of a Multi-Site and Multi-Species Analysis”. *Journal of Applied Ecology* 49 (2): 386-394. doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02110.x
- Pearce-Higgins, James W., Leigh Stephen, Rowena H. W. Langston, Ian P. Bainbridge y Rhys Bullman. 2009. “The Distribution of Breeding Birds around Upland Wind Farms”. *Journal of Applied Ecology* 46 (6): 1323-1331. doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01715.x
- Pedersen, Eja, Frits van den Berg, Roel Bakker y Jelte Bouma. 2009. “Response to Noise from Modern Wind Farms in the Netherlands”. *The Journal of the Acoustical Society of America* 126 (2): 634-643. doi.org/10.1121/1.3160293
- Pepermans, Yves, y Ilse Loots. 2013. “Wind Farm Struggles in Flanders Fields: A Sociological Perspective”. *Energy Policy* 59: 321-328. doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.044
- Poulsen, Aslak Harbo, Ole Raaschou-Nielsen, Alfredo Peña, Andrea N. Hahmann, Rikke Baastrup Nordsborg, Matthias Ketzler, Jørgen Brandt y Mette Sørensen. 2019. “Impact of Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise on Redemption of Sleep Medication and Antidepressants: A Nationwide Cohort Study”. *Environmental Health Perspectives* 127 (3): 037005. doi.org/10.1289/EHP3909
- Poulsen, Aslak Harbo, Ole Raaschou-Nielsen, Alfredo Peña, Andrea N. Hahmann, Rikke Baastrup Nordsborg, Matthias Ketzler, Jørgen Brandt y Mette Sørensen. 2018a. “Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise at Night and Risk for Diabetes: A Nationwide Cohort Study”. *Environmental Research* 165: 40-45. doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.040

- Poulsen, Aslak Harbo, Ole Raaschou-Nielsen, Alfredo Peña, Andrea N. Hahmann, Rikke Baastrup Nordsborg, Matthias Ketzler, Jørgen Brandt y Mette Sørensen. 2018b. “Pregnancy Exposure to Wind Turbine Noise and Adverse Birth Outcomes: A Nationwide Cohort Study”. *Environmental Research* 167: 770-775. doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.011
- Regueiro, Rosa María, y Habbid Chavez. 2014. “El desarrollo eólico en Brasil, Ecuador y España: reflexiones a partir del marco normativo”. *Estudios Económicos y Empresariales* 26: 95-112. https://bit.ly/3AOGTOY
- Rodrigues Raimundo, Danielle, Ivan Felipe Silva dos Santos, Geraldo Lúcio Tiago Filho y Regina Mambeli Barros. 2018. “Evaluation of Greenhouse Gas Emissions Avoided by Wind Generation in the Brazilian Energetic Matrix: A Retroactive Analysis and Future Potential”. *Resources, Conservation and Recycling* 137: 270–280. doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.020
- Rodríguez Padilla, Víctor. 2016. “Industria eléctrica en México: tensión entre el Estado y el mercado”. *Problemas del Desarrollo* 185 (47): 33-55. https://bit.ly/3lPXCx6
- Saidur, Rahman, Nasrudin A. Rahim, Monirul Rafiq Islam y Khalid H. Solangi. 2011. “Environmental Impact of Wind Energy”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (5): 2423-2430. doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.024
- Santos, Mário, Rita Bastos, Paulo Travassos, Regina Bessa, Miguel Repas y João Alexandre Cabral. 2010. “Predicting the Trends of Vertebrate Species Richness as a Response to Wind Farms Installation in Mountain Ecosystems of Northwest Portugal”. *Ecological Indicators* 10 (2): 192-205. doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.04.014
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2020. *Contribución determinada a nivel nacional: México*. México D.F.: SEMARNAT. https://bit.ly/3aKuAbR
- SENER (Secretaría de Energía). 2020. *Balance nacional de energía 2019*. México: Secretaría de Energía. https://bit.ly/3AUf0F0
- SENER (Secretaría de Energía). 2016. *Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030*. México: Secretaría de Energía. https://bit.ly/3aOuMH8
- SENER (Secretaría de Energía). 2012. *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. México: Secretaría de Energía. https://bit.ly/3ARIF1M
- Silva, Mafalda, y Hanne Lerche Raadal. 2019. *Life Cycle GHG Emissions of Renewable and Non-renewable Electricity Generation Technologies*. Aalborg: Aalborg University. https://bit.ly/3vnh2wv
- Simas, Moana, y Sergio Pacca. 2014. “Assessing Employment in Renewable Energy Technologies: A Case Study for Wind Power in Brazil”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31: 83-90. doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.046
- Slattery, Michael C., Eric Lantz y Becky L. Johnson. 2011. “State and Local Economic Impacts from Wind Energy Projects: Texas Case Study”. *Energy Policy* 39 (12): 7930-7940. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.047
- Sovacool, Benjamin K., Hans H. Lindboe y Ole Odgaard. 2008. “Is the Danish Wind Energy Model Replicable for Other Countries?”. *The Electricity Journal* 21 (2): 27-38. doi.org/10.1016/j.tej.2007.12.009

- Szumilas-Kowalczyk, Hanna, Nicholas Pevzner y Renata Giedych. 2020. “Long-Term Visual Impacts of Aging Infrastructure: Challenges of Decommissioning Wind Power Infrastructure and a Survey of Alternative Strategies”. *Renewable Energy* 150: 550-560. doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.143
- Tabassum-Abbasi, Manicam Premalatha, Tasneem Abbasi y Shahid Abbas Abbasi. 2014. “Wind Energy: Increasing Deployment, Rising Environmental Concerns”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31: 270-288. doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.019
- Topham, Eva, Elena Gonzalez, David McMillan y Elsa João. 2019. “Challenges of Decommissioning Offshore Wind Farms: Overview of the European Experience”. *Journal of Physics: Conference Series* 1222 (1). doi.org/10.1088/1742-6596/1222/1/012035
- Tota-Maharaj, Kiran, y Alexander McMahon. 2020. “Resource and Waste Quantification Scenarios for Wind Turbine Decommissioning in the United Kingdom”. *Waste Disposal & Sustainable Energy* 3: 117-144. doi.org/10.1007/s42768-020-00057-6
- UNDP (United Nations Development Program). 2010. *América Latina y el Caribe: una superpotencia de biodiversidad*. Estados Unidos: UNDP.
- Villegas-Patracca, Rafael, Sergio A. Cabrera-Cruz y Leonel Herrera-Alsina. 2014. “Soaring Migratory Birds Avoid Wind Farm in the Isthmus of Tehuantepec, Southern Mexico”. *PLoS ONE* 9 (3): 1-7. doi.org/10.1371/journal.pone.0092462
- Villegas-Patracca, Rafael, y Leonel Herrera-Alsina. 2015. “Migration of Franklin’s Gull (*Leucophaeus Pipixcan*) and Its Variable Annual Risk from Wind Power Facilities across the Tehuantepec Isthmus”. *Journal for Nature Conservation* 25: 72-76. doi.org/10.1016/j.jnc.2015.03.006
- Wang, Shifeng, y Sicong Wang. 2015. “Impacts of Wind Energy on Environment: A Review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49: 437-443. doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.137
- Wang, Shifeng, Sicong Wang y Pete Smith. 2015. “Quantifying Impacts of Onshore Wind Farms on Ecosystem Services at Local and Global Scales”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52: 1424-1428. doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.019
- Wind Europe. 2020. “Decommissioning of Onshore Wind Turbines. Industry Guidance Document”. <https://bit.ly/3DTetVF>
- World Bank. 2016. *Uruguay. (Intended) Nationally Determined Contribution*. Washington D.C.: World Bank.
- Zárate-Toledo, Ezequiel, Rodrigo Patiño y Julia Fraga. 2019. “Justice, Social Exclusion and Indigenous Opposition: A Case Study of Wind Energy Development on the Isthmus of Tehuantepec, Mexico”. *Energy Research & Social Science* 54: 1-11. doi.org/10.1016/j.erss.2019.03.004
- Zimmerling, J. Ryan, Andrea C. Pomeroy, Marc V. d’Entremont y Charles M. Francis. 2013. “Canadian Estimate of Bird Mortality Due to Collisions and Direct Habitat Loss Associated with Wind Turbine Developments”. *Avian Conservation and Ecology* 8 (2): 10. doi.org/10.5751/ACE-00609-080210