

6. Bonos verdes para fomentar el crecimiento del mercado de bioenergéticos en México

CORAL AYLIN SALINAS OLIVO*

JOSÉ CARLOS TREJO GARCÍA**

MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ GARCÍA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.249.06>

Resumen

El aumento de la población y la demanda energética industrial en México han puesto en tensión las fuentes convencionales de energía. Según el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO, 2023), el consumo energético en México crecerá 2.5% anual entre 2023 y 2037, alcanzando casi 480 000 GWh en 2037, 44% más que en 2022. Por ello, se están explorando fuentes de energía más limpias, como los bioenergéticos, para satisfacer esta demanda.

El objetivo de la investigación es comparar las estrategias e impacto económico y social de los bonos verdes en Alemania, China, España y Estados Unidos, usando indicadores financieros y no financieros para impulsar el crecimiento del mercado de bioenergéticos en México. La hipótesis sugiere que la comparación de estrategias y proyectos financiados por bonos verdes en estos países ayudará a expandir este mercado en México. La me-

Los autores agradecen a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Economía, y a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo otorgado por medio de la investigación registrada 20240282 y 20240364.

* Estudiante de Maestría en Ciencias Económicas. Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5903-9382>

** Doctor en Ciencias Económicas. Profesor investigador y coordinador en la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0046-5310>

*** Doctor en Ciencias Económicas. Profesor investigador en la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8410-2538>

todoología incluyó análisis estadístico descriptivo y comparativo, empleando el coeficiente de correlación de Pearson para identificar similitudes y diferencias en el uso y emisión de estos bonos en bioenergía en los países estudiados. Se estimó un incremento de bioenergéticos en México para 2030, en línea con el paquete legislativo Fit for 55 de la Unión Europea, que busca reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en 55% para 2030 respecto a 1990. Los resultados mostraron que el uso de bonos verdes, emulando a sus pares internacionales y con una correlación de 0.80 entre el producto interno bruto (PIB) y la generación de energías renovables en México, puede aumentar el mercado de bioenergéticos en 37% respecto a la producción actual.

Palabras clave: *bonos verdes, bioenergéticos, energía renovable, sostenibilidad, criterios ASG.*

Introducción

El consumo energético de México se encuentra en constante crecimiento, por lo que las fuentes convencionales de energía se han visto comprometidas en el cumplimiento del abastecimiento energético necesario para la población, por ello se han investigado nuevas fuentes alternas de energía, tales como energías renovables, energías limpias y/o los bioenergéticos a fin de poder fomentar su uso y de esta manera poder ayudar a disminuir esta demanda energética.

De acuerdo con la Secretaría de Energía (Sener) (2020), México en 2020 logró 51.79% de producción bruta de electricidad por energías limpias, evidenciando que inclusive la industria bioenergética ha logrado experimentar un crecimiento significativo. Asimismo, demuestra cómo el mercado energético mexicano se ha esforzado por asegurar una oferta de energía adecuada y puntual que respalde de manera continua su crecimiento.

Sin embargo, el principal obstáculo para la adopción de los bioenergéticos radica en la necesidad de demostrar su viabilidad y sostenibilidad como medida de mitigación. Además, se enfrentan a desafíos económicos y de aceptación social, que requieren un marco de políticas públicas favo-

rable para destacar como una alternativa viable para la descarbonización del sector de energía (Martínez y Masera, 2020).

Durante el periodo del COVID-19, en México existieron suspensiones en proyectos de energías renovables, mientras que otros países de Europa y Asia tuvieron la oportunidad de poder transformar hasta 8% de su demanda eléctrica total a energías renovables (EMBER, 2022).

Asimismo, durante ese mismo periodo, en México, el Centro Nacional de Control de Energía (Cenace) confirma que una parte de la demanda energética presentó una reducción de 10% en tan sólo una semana en comparación con datos del año 2019 (Cenace, 2021). Por ello, en un contexto de financiamiento sostenible se promueve la inversión en proyectos y actividades que generen un impacto positivo y estén alineados con los objetivos de sustentabilidad y sostenibilidad. Aunque es importante considerar que la sustentabilidad se centra en el equilibrio y la capacidad de mantener o sustentar algo, mientras que la sostenibilidad va más allá y busca un desarrollo integral que sea socialmente justo, ambientalmente responsable y económicamente viable.

Vizcarra (2019) plantea que en México, desde la década de 1990, se comenzó a abordar la importancia de la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) como un concepto relevante con prácticas que consideraban al beneficio económico, al impacto social y ambiental de las acciones empresariales, paralelamente, el concepto de desarrollo sostenible ganaba fuerza en la agenda global y nacional, siendo este un preámbulo fundamental para la creación de los criterios Ambientales, Sociales y de Gobernanza (ASG) y de los Principios para la Inversión Responsable (PRI, por sus siglas en inglés).

Conforme a ello, Sanmartín (2023) define a los criterios ASG como aquellos criterios que “posibilitan la selección de activos para inversiones sostenibles, basándose en un estudio de diversas variables ambientales, sociales y de gobernanza corporativa, además de considerar aspectos estructurales y financieros”. En términos más simples, los criterios ASG son un conglomerado de elementos empleados para evaluar inversiones y compañías con el fin de medir su rendimiento en temas concernientes con el medioambiente, lo social y la gobernanza corporativa.

Los PRI tienen como objetivo, “entender el impacto que las cuestiones ambientales, sociales y de gobierno corporativo tienen en las inversiones y

asesorar a los signatarios para integrar estos asuntos a sus decisiones sobre las inversiones y el ejercicio de la propiedad” (UNPRI, 2021). Asimismo, la creación de los PRI en 2005, promovidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), incrementó la demanda de proyectos sostenibles, los cuales han fungido como una guía hacia la adecuada cohesión de los ASG en las elecciones y prácticas de inversión.

En el año 2007, el Banco Europeo de Inversiones (BEI) introdujo una herramienta financiera que revolucionó el modelo existente, llamada bonos verdes. En México, en el año 2015, Nacional Financiera (Nafin) emitió por primera vez un bono verde (CCFV, 2016).

Desde entonces y hasta 2023 —tiempo que se ha destinado para el análisis de esta investigación—, en México se emitieron 32 bonos verdes destinados a la inversión en energías limpias, lo que refleja una amplia participación de inversores públicos y privados que reconocen este instrumento como una buena opción de inversión básica para afrontar al cambio climático y obtener beneficios económicos, sin embargo, pese a estos beneficios ninguno de estos bonos se ha destinado al sector de bioenergéticos aún.

La escasa producción de bioenergéticos evidencia la falta de desarrollo en proyectos de inversión en este sector (Gutiérrez, 2018), provocando que esta situación coloque a México en una desventaja internacional en términos de desarrollo de fuentes alternas de energía. Por consiguiente, los bonos verdes podrían ser vistos como una alternativa para fomentar el crecimiento del mercado mexicano de bioenergía. Al realizar un análisis del periodo de 2016 a 2023, se busca generar directrices para impulsar el crecimiento del mercado de bioenergéticos. Además, se pretende proporcionar información útil para emprendedores, pequeñas y medianas empresas (pymes), otros países interesados en fortalecer este sector y también para inversionistas que buscan destinar recursos a proyectos con conciencia ambiental. De este modo, se promueve el crecimiento económico del país y se estimula su soberanía energética.

En síntesis, en el marco teórico se revisará la literatura sobre bonos verdes, el mercado de bioenergéticos y la situación actual del país. En el estado del arte se analizará la evolución de la energía en México y a nivel internacional, y el crecimiento de los bioenergéticos y bonos verdes. En la metodología se aplicará un análisis estadístico descriptivo y comparativo.

Finalmente, se discutirán los resultados, proponiendo políticas y conclusiones para impulsar el mercado de bioenergéticos en México mediante bonos verdes.

Marco teórico

Durante la década de 1970, varios países con mayor desarrollo económico, especialmente Estados Unidos, se encontraron con una situación de escasez en el abastecimiento de combustibles derivados del petróleo. Como resultado, se inició una búsqueda de fuentes de energía alternativas producidas a partir de recursos nacionales (Demirbas, 2008).

A pesar de ser una economía emergente, México se enfrenta actualmente a desafíos económicos, sociales y ambientales debido a una variedad de situaciones internas y externas. Estos desafíos resaltan la exigencia de buscar tecnologías más asequibles en costos que aprovechen de manera adecuada los recursos locales (Bonilla, 2022). Desafortunadamente, el constante crecimiento de la demanda energética ha llevado a grandes problemas ambientales, mismos que han desatado la necesidad de crear energía que sea capaz de reponerse naturalmente en un considerable periodo relativamente corto, nombrando a estos nuevos medios, energía renovable.

En una de las ramas de las energías renovables se encuentran los bioenergéticos, los cuales se definen como sustancias o materiales derivados de la biomasa que se manejan como combustibles o fuentes de energía limpia. Proviene de materia orgánica de algunas actividades económicas del sector primario y secundario. Las fuentes bioenergéticas representan una opción sustitutiva a los combustibles fósiles y pueden contribuir a disminuir su dependencia con los recursos no renovables y con los GEI.

En la última década los bioenergéticos han ganado considerable atención debido a su reconocida relevancia ambiental. En comparación con los combustibles derivados del petróleo, se reconoce que los biocombustibles provienen de fuentes renovables y generan menos impactos negativos. Además, presentan bajas emisiones de gases corrosivos y son biodegradables, según sostiene Díaz (2006).

En vista de los beneficios, de acuerdo con el Diario Oficial de la Fede-

ración (DOF, 2008) el Gobierno de México decidió publicar la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos (LPDB), convirtiéndose en el pilar fundamental de la legislación mexicana relacionado a este sector. El propósito principal de esta ley es fomentar y desarrollar los bioenergéticos a fin de apoyar la ampliación energética y promover un desarrollo sostenible.

Más tarde, se crearon nuevos planes por parte del campo energético mexicano, que se estipulan en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2021-2026 con el objetivo de asegurar una oferta de energía adecuada y puntual que respalda de manera constante el crecimiento económico del país, por lo que el gobierno de México consideró el desarrollo de la infraestructura energética nacional como una meta fundamental para acceder a las oportunidades y ventajas que otorgan todos los mercados globales.

Además de los impactos positivos en la salud, procedentes por la disminución de los gases contaminantes en el aire, la elaboración de bioenergéticos contribuye a la creación de empleos y al aumento de recursos económicos. Según un reporte del National Biodiesel Board (2017), se estima que de cada 100 millones de galones que se fabrican de biodiésel en Estados Unidos, se generan cerca de 3 200 puestos de trabajo. En todo el país, el sector del biodiésel contribuyó a la creación de 64 000 empleos.

Por ende, es imperativo analizar las oportunidades de inversión que ofrecen el sector privado y el público, sin dejar a un lado que cualquier gasto realizado en infraestructura tiene que ser eficiente en la asignación de sus recursos y sobre todo tener como ejes principales a los beneficios sociales, como señalan Mota et al. (2002).

Es importante hacer hincapié en que los biocombustibles se han establecido como un factor clave para fomentar el bienestar social en diversos países alrededor del mundo. Han contribuido a la generación de empleo y al aumento del PIB, como se evidencia en el caso de Brasil, donde el biodiésel respaldó el auge económico posterior a la pandemia de COVID-19. Se cuenta con la expectativa de que este efecto positivo dure 27 años más (Battistella, 2021).

El principal inconveniente que en la actualidad persiste en el gobierno de México es que este todavía no ha implementado un conjunto de regulaciones coherentes para llevar a cabo una transición de los combustibles fósiles. A su vez, la reforma energética estipulada en 2013 flexibiliza el mo-

nopolio público de los hidrocarburos, lo que ayudó a una mayor competencia en el sector energético, supervisada por una autoridad reguladora independiente.

Inicialmente, las energías renovables, respaldadas por el sector privado, destacan un crecimiento notable. No obstante, esto cambió de manera drástica en 2018 con la asunción de Andrés Manuel López Obrador a la presidencia, marcando un punto de inflexión en el país. Sus detractores argumentan que sus intenciones van centradas en tratar de regresar a Petróleos Mexicanos (Pemex) al monopolio petrolero, argumentando que la administración de la política energética del gobierno de Andrés Manuel depende en su mayoría del petróleo, el carbón y el gas natural, es decir, de los combustibles fósiles, lo que lleva a una situación de incertidumbre hacia la producción constante de estos bioenergéticos, demostrando no contar con incentivos o disposiciones favorables que coadyuven a esta situación.

Por lo tanto, a fin de seguir contribuyendo en incentivos o programas que fomenten la inversión en este tipo de áreas, la comunidad inversora desarrolló productos financieros con la intención de impulsar la transición ambiental y social, entre los que destacan los bonos verdes, un instrumento central para favorecer el cambio de modelo.

Santos y Ferrera (2017) delimitan a este instrumento como “un bono que sirve para financiar proyectos de energías alternativas, eficiencia medioambiental, transporte limpio o adaptación al cambio climático”. Estos instrumentos financieros son emitidos por empresas privadas y/o gubernamentales, y se utilizan para financiar o refinanciar proyectos que promuevan la responsabilidad social y ambiental, lo que indica que este tipo de financiamiento puede ser de gran ayuda para las empresas y sobre todo para lograr un gran cambio gracias al objetivo de sus inversiones y programas sostenibles centrados en la conservación ambiental.

Estado del arte

Desde hace varias décadas se consideró que las energías renovables podrían ser una opción diferente a las fuentes de energía convencionales debido a su garantizada existencia en el presente y en el futuro (en contraste con los

combustibles fósiles, los cuales requieren varios años para formarse) y a su reducido impacto ambiental.

Hernández y Moreno (2013) comentan que uno de los principales beneficios de las energías renovables respecto a las convencionales, es la capacidad que tienen para disminuir el uso de estas últimas, apostado por una sustitución escalable y sostenible, lo cual a su vez brinda la oportunidad de poder llevar una mejor calidad de vida al mismo tiempo que se preserva el entorno con la intención de que las generaciones sucesivas no se vean perjudicadas.

En el contexto global de la transición hacia una economía más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, el uso y la emisión de bonos verdes han emergido como un instrumento financiero esencial para impulsar proyectos de energías renovables, incluida la bioenergía.

Estados Unidos y China, como dos de las principales economías del mundo, han desempeñado roles significativos en la adopción y promoción de bonos verdes en el sector de bioenergéticos, estableciendo ejemplos que podrían ser inspiradores para otros países, incluido México.

Por otro lado, Alemania y España han mostrado un fuerte compromiso con la sostenibilidad y la transición energética, lo cual se refleja en su interés por desarrollar mercados de bonos verdes, el cual está en línea con los objetivos de la Comisión de la Unión Europea de reducir las emisiones de carbono y promover la energía renovable hasta en 45% en el marco de su paquete legislativo Fit for 55. Estas características ofrecen valiosas lecciones y oportunidades para que México fortalezca su enfoque en la bioenergía y aproveche el potencial de los bonos verdes para financiar proyectos sostenibles en este sector.

Estados Unidos, con su innovadora industria de tecnología limpia y su enfoque en la diversificación energética, ha sido pionero en la emisión de bonos verdes para financiar una amplia gama de proyectos verdes, incluida la bioenergía. Por otro lado, China se justifica por su liderazgo en bioenergía, su experiencia en innovación financiera y su compromiso con la sostenibilidad. Según información reciente de Global Energy Monitor (2023), China posee más de 25% de la capacidad de producción activa de bioenergía en todo el mundo y cerca de 40% de la capacidad potencial global en este sector.

En el caso de Alemania, como parte de su compromiso en el Plan de mantenimiento de protección del clima establecido por la Unión Europea, se comprometió a alcanzar la neutralidad climática para 2045 (ICEX, 2023). Los bioenergéticos en este país generan poco más de 22 000 empleos, lo que a su vez genera cerca de 6 600 millones de euros. En cuanto a temas de infraestructura, Alemania posee una gran logística que maneja el uso y producción de bioenergéticos en todo su territorio, lo que ha ayudado a que sea un exportador neto de este recurso a nivel mundial, debido a que produce más bioenergéticos de lo que consume. Asimismo, es importante destacar que 48% de los insumos necesarios para producir bioenergía provienen de Europa y Alemania aporta casi 20% de estos insumos.

España presentó en 2020 el Marco Estratégico de Energía y Clima, un marco en materia de política climática en el que destaca el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima para el periodo 2021-2030, que establece la descarbonización a largo plazo e identifica las oportunidades en términos de empleo, inversión y generación de actividad económica ligadas a la transición ecológica. En 2023, según datos de la Red Eléctrica de España, la generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables fue de 116 TWh, representando 42% del total de energía.

Al comparar las experiencias de estos países, se pueden identificar las mejores prácticas, los desafíos superados y las lecciones aprendidas que podrían ser aplicables a México. Este análisis comparativo permitirá a México comprender cómo estructurar políticas y programas para fomentar la emisión de bonos verdes en el sector de bioenergía, aprovechando el conocimiento y la experiencia acumulada por estos países.

Al paso de los años, México ha demostrado un enorme interés en ser cada vez más sostenible en materia energética, por lo que, para poder lograr un crecimiento del mercado de bioenergéticos, es necesario financiar proyectos de este tipo, con la ayuda de los bonos verdes, los cuales brindan una fuente de financiamiento específica y responsable para estas iniciativas, atrayendo a inversores que valoran el aspecto sostenible de sus inversiones.

El Banco Mundial (BM) postuló en 2007 el primer bono verde lanzado bajo instrucciones del BEI (Grupo Banco Mundial, 2015). La emisión, valuada en 600 millones de euros, tenía como propósito financiar iniciativas

vinculadas a la energía renovable, el transporte ecológico y la eficiencia energética en Europa. Este instrumento financiero resultó altamente exitoso, lo cual evidenció el creciente interés por invertir en proyectos ambientalmente amigables y sostenibles.

En 2015, Nafin fue la primera institución financiera gubernamental en México en llevar a cabo la emisión de un bono verde, con un importe aproximado de 500 millones de dólares, destinando los fondos a proyectos de energía renovable, principalmente relacionados con la generación de energía eólica (CCFV, 2016). Este acontecimiento marcó el inicio de la cooperación de México en este mercado y también fue la primera vez que una institución de desarrollo bancario en América Latina emitió este tipo de bonos, fomentando así la inversión en proyectos sostenibles.

Esta emisión tuvo un gran impacto en el mercado, ya que abrió la puerta para futuras emisiones de estos bonos por parte de otras instituciones en el país. Hasta finales de 2023, México ha emitido un total de 32 bonos verdes con un valor acumulado de \$103 830 millones, destinados a la inversión de energía eólica, construcción de hidroeléctricas, recursos para la creación de la línea 7 del Metrobús, entre otros, evidenciando la gran participación de inversores público-privados que han reconocido a este instrumento como una nueva opción de inversión esencial para enfrentar al cambio climático mientras obtienen beneficios.

En el sector privado diversas empresas mexicanas han emitido bonos verdes para financiar proyectos ambientales centrados en la generación de energías limpias y la eficiencia energética. Además, el gobierno ha promovido iniciativas para estimular la adopción de estos instrumentos financieros, como el asentamiento de un marco regulador y la ejecución de incentivos fiscales.

El mundo se encuentra ante una serie de oportunidades y desafíos debido al progreso económico y social. Eventos como la caída de los precios del petróleo en 2016, la crisis del Bitcoin en 2018, la propagación del COVID-19 en 2020, la invasión de Rusia a Ucrania en 2022, entre otros, han suscitado una preocupación global por adoptar los criterios ASG dentro de sus prácticas.

La inversión ASG ha tenido un impacto significativo en la industria de gestión de activos. Sólo en 2021, en Estados Unidos, los activos bajo gestión

de fondos ASG aumentaron en 35%, y en Europa los activos en fondos ASG crecieron en 52 000 millones de euros, alcanzando un total de 1.1 billones de euros (Bioy et al., 2021).

Por esta razón, a menos de que la demanda de acciones sea completamente elástica, esta demanda sin precedentes por activos con un desempeño ASG superior debería impulsar sus precios, aunque desafortunadamente este efecto ha mostrado resultados diversos.

En marzo de 2023 la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) lanzó la Taxonomía Sostenible de México, la cual funciona como guía para inversiones o activos que aspiren a ser etiquetados en México como verdes o sostenibles. Su propósito es someterlos a un conjunto de directrices para asegurar su robustez, teniendo en cuenta de manera constante los criterios ASG y los ODS (SHCP, 2023). Es por esta razón que la creación de esta taxonomía nacional ahora será la guía oficial de referencia para la correcta emisión de bonos verdes dentro de la República mexicana.

Desde 2015 a la fecha, la Bolsa Mexicana de Valores ha sido el lugar donde se han emitido 83 bonos ASG, logrando una suma total de \$277 000 millones. Durante 2023 se han destinado poco más de \$102 000 millones a inversiones que cumplen con los criterios ASG, marcando el nivel máximo de participación registrado desde la introducción de este tipo de financiamiento (Santiago, 2023). Por lo tanto, en cuanto a las emisiones de bonos verdes, se ha notado un incremento constante, denotando como México está fuertemente comprometido en materia de financiamiento sostenible con los ASG y los PRI.

Metodología

A fin de cumplir con el objetivo principal de esta investigación y debido a la escasez de datos sobre bonos verdes en bioenergía en México, se llevará a cabo una metodología de estadística descriptiva y comparativa, la cual, de acuerdo con Sánchez y Reyes (2015), usa la recolección de dos o más muestras con el objetivo de observar cómo se comporta una variable específica, mientras se controlan estadísticamente otras variables que podrían influir en la variable de estudio.

Esta investigación se enriquecerá con estudios de casos centrados en las emisiones de bonos verdes en el sector de la bioenergía, específicamente en Alemania, China, España y Estados Unidos.

El propósito es analizar detalladamente cómo estas naciones han optimizado su producción energética y han generado impactos positivos en los ámbitos social, ambiental y de gobernanza mediante la implementación de estos bonos, esto con la finalidad de extraer lecciones aprendidas y buenas prácticas que puedan servir como guía para México en su camino hacia una economía más responsable con el medio ambiente.

La elección de estos países como referencia para la comparación con México en el ámbito de los bonos verdes en bioenergéticos se fundamenta en la experiencia internacional que han acumulado a partir de la implementación de programas y políticas relacionadas con la producción de energía renovable y el uso de bonos verdes.

Además, estos países se encuentran entre los principales actores a nivel mundial en términos de inversión en energías limpias y desarrollo de infraestructura para bioenergéticos. El diseño general propuesto de la metodología descriptiva comparativa para esta investigación puede esquematizarse de la siguiente manera:

Comparación entre cada una de las muestras, pudiendo ser semejantes (\approx), iguales ($=$) o diferentes (\neq).

$$\begin{aligned}
 &M_1 - O_1 \\
 &M_2 - O_2 \\
 &M_3 - O_3 \\
 &M_4 - O_4 \\
 &M_5 - O_5 \\
 &M_6 - O_6 \\
 &M_7 - O_7 \\
 &M_8 - O_8 \\
 &M_9 - O_9 \\
 &M_{10} - O_{10}
 \end{aligned}$$

Donde:

M_x = Son las muestras de trabajo

M_1 = Volumen de las emisiones en bonos verdes

M_2 = Monto de las emisiones en bonos verdes

M_3 = Áreas prioritarias de inversión

M_4 = Reducción estimada de emisiones de CO₂ (ton/año)

M_5 = Aporte a la producción de energía mediante fuentes renovables

M_6 = Ahorro energético estimado

M_7 = producto interno bruto

M_8 = Generación de bioenergía

M_9 = Proyectos de bioenergía financiados por bonos verdes

M_{10} = Índices ASG

O_x = Observaciones de las muestras

Por otro lado, la aplicación de un análisis de correlación de Pearson en este estudio permitirá describir la relación lineal entre la variable del PIB y el aporte a la producción de energía por la generación de energía renovable, con el objetivo de obtener una medida cuantitativa que muestre la asociación entre estos elementos a través de un coeficiente de correlación.

Este coeficiente varía en un rango de +1 a -1, donde un valor igual o mayor a +1 indica una relación positiva perfecta, mientras que un valor menor que cero sugiere una relación inversa entre las variables.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Donde:

n = número de pares de datos

x = valores del PIB

y = valores del aporte a la producción de energía renovable

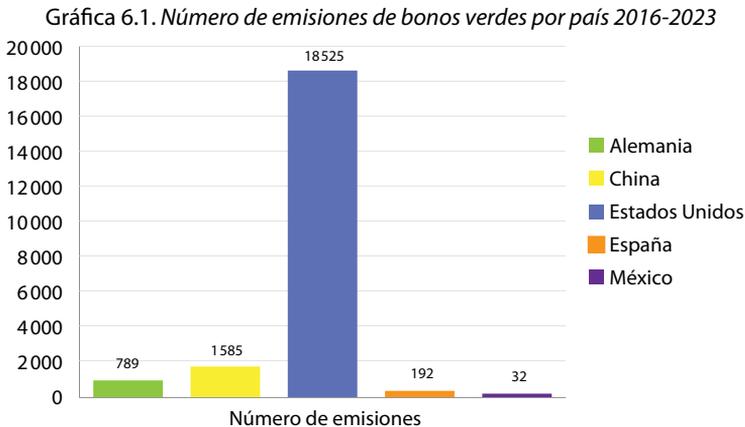
Materiales

Se hace uso de una metodología de análisis estadístico descriptivo y comparativo en relación con el uso y la emisión de bonos verdes en el ámbito de la bioenergía. Esto permite comparar la frecuencia, el volumen y el monto de las emisiones, así como el impacto ambiental y social de los proyectos financiados. Se resaltan estrategias y políticas exitosas que han sido imple-

mentadas y los desafíos superados en cada país, a fin de ofrecer una orientación valiosa para la implementación de iniciativas similares que incentiven el crecimiento del mercado de bioenergéticos en México.

Descripción estadística

En esta sección se muestra mediante la gráfica 6.1 una descripción breve del número de emisiones en bonos verdes que se han llevado a cabo desde 2016 en Alemania, China, España, Estados Unidos y México, el cual revela una brecha significativa en la cantidad de emisiones entre estos países.



Fuente: Elaboración propia con base en Clima Bonds Initiative 2023.

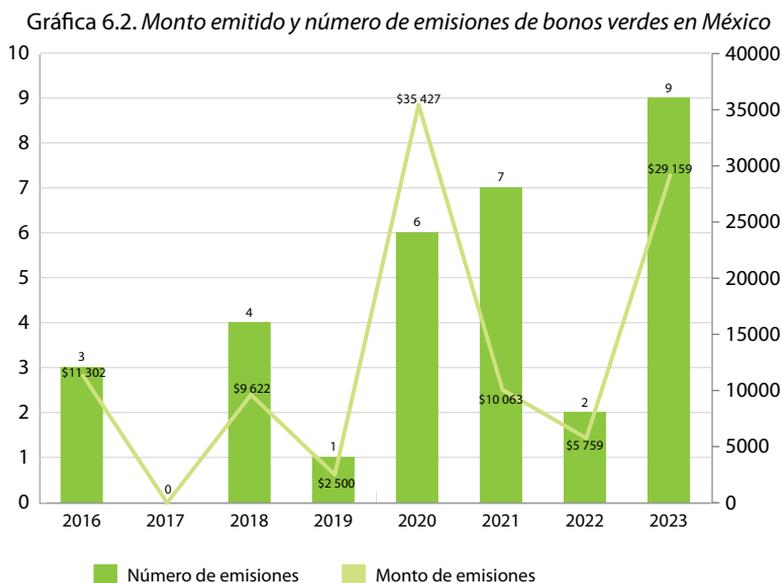
En el lado de Europa, Alemania está mucho más avanzada en términos de proyectos de bonos verdes. Con 80.43% de los proyectos entre los dos países, Alemania demuestra un enfoque y capacidad mucho mayores en el ámbito de financiamiento sostenible. Por otro lado, aunque España contribuye con 19.57% de los proyectos, todavía tiene un margen considerable para aumentar su participación y cerrar la brecha con Alemania.

En China y Estados Unidos se observa una notable cantidad de proyectos respaldados por bonos verdes en comparación principalmente con México, que cuenta con sólo 32 emisiones en los últimos años. Esta diferencia puede atribuirse a factores como:

1. El tamaño de la economía y capacidad financiera en inversión sostenible.
2. Las políticas gubernamentales y marco regulatorios que promueven activamente la inversión en proyectos de energía limpia.
3. Desarrollo de infraestructura y tecnología.
4. Conciencia y cultura ambiental que se lleva a cabo en su ciudadanía.

Sin embargo, de acuerdo con la Comisión Económica para América latina y el Caribe (CEPAL, 2023), México fue el emisor principal de bonos en América del Norte y el Caribe en 2022, representando 26% de todas las emisiones en este sector respecto a ese año.

Por otro lado, la gráfica 6.2 revela el compromiso de México en la emisión de bonos verdes, alcanzando un total de 32 emisiones con un valor acumulado de \$103 830 millones. Además, se observa un incremento significativo en el número de emisiones, triplicándose desde 2016 hasta 2023. Durante este último lapso, el país ha experimentado un impresionante crecimiento de 350%, evidenciando así un dinamismo destacado en este mercado.



Fuente: Elaboración propia con base en el Consejo Mexicano de Finanzas Sostenibles 2023.

Esto demuestra la existencia de un mayor número de inversionistas interesados en ayudar a la mitigación del cambio climático por medio del mercado bursátil, además de que este tipo de instrumento de deuda marca un punto de inflexión crucial para impulsar a México hacia el desarrollo de una economía completamente sostenible y a la reestructuración de la matriz energética del país.

Asimismo, mediante el análisis de la base de datos del Climate Bonds Initiative (CBI) y la revisión de informes y reportes, se elaboró de manera detallada el cuadro 6.1, en el que se destaca los bonos verdes destinados a proyectos centrados en la generación, uso y promoción de la bioenergía por país.

Cuadro 6.1. *Resumen de la asignación de bonos verdes en bioenergía por país 2016-2023*

País	Bonos Verdes destinados a bioenergía	Monto emitido en dólares	Capacidad instalada (MW)	Producción de energía (GWh)	Emisiones de CO2 evitadas (ton/año)
Alemania	21	\$5 171 536 214	4 135	12 225	13 926 372
China	9	\$1 488 514 047	1 827	3 291	1 544 797
EE. UU.	13	\$3 008 195 000	2 010	7 026	7 899 252
España	5	\$2 168 603 805	1 008	2 140	1 289 836
México	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia con base al Climate Bonds Initiative 2023

Se observa que Alemania ha emitido una cantidad sustancial de fondos para proyectos de bioenergía, con un promedio de aproximadamente \$246 millones por proyecto, además de ser el país que más emisiones de CO2 evita anualmente, lo cual evidencia su papel crucial en la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y en la lucha contra el cambio climático.

Los esfuerzos realizados por China han resultado en un notable impacto en la capacidad instalada de energía renovable, registrando poco más de 1 800 MW desde 2016 a 2023, lo cual ha tenido un efecto directo en la reducción de emisiones de dióxido de carbono, lo que a su vez ha evitado la liberación de aproximadamente 1 544 797 toneladas por año.

La producción de bioenergía de Estados Unidos refleja un progreso en la producción total de 7 026 GWh de bioenergía. Además, esta expansión ha desempeñado un papel fundamental en la reducción de las emisiones

GEI en el país, evitando 7 899 252 toneladas por año. Esto significa que las emisiones que han sido evitadas de Estados Unidos a través de las acciones implementadas en los proyectos son 411.08% más altas que las de China en términos absolutos.

Por último, España ha emitido diversos proyectos de bioenergía con un promedio de financiación de \$434 millones, superior al de Alemania, aunque tiene menos proyectos. La capacidad instalada promedio por proyecto en España es de 202 MW, ligeramente mayor que los 197 MW de Alemania, lo que sugiere un enfoque en instalaciones de mayor capacidad. Estas diferencias pueden reflejar variaciones en eficiencia, tecnologías y políticas de implementación en ambos países, a pesar de ser parte de la Unión Europea.

En el cuadro 6.2 se muestra la correlación entre el PIB de cada país y su generación de energía renovable. El coeficiente de determinación R^2 fue obtenido mediante un modelo de regresión lineal simple, mientras que el R^2 ajustado proviene de un modelo de regresión lineal múltiple, que incluye variables adicionales para mejorar la precisión del análisis.

Cuadro 6.2. Estadística descriptiva de las variables del PIB y la generación de energía renovable por país 2016-2023

Estadística de la regresión	Alemania	China	EE. UU.	España	México
Coeficiente de correlación múltiple	0.97	0.98	0.97	0.73	0.80
Coeficiente de determinación R^2	0.94	0.96	0.95	0.53	0.65
R^2 ajustado	0.94	0.95	0.94	0.45	0.59
Error típico	14.73	52.48	14.73	80 676.61	3.56

Fuente: Elaboración propia 2024.

Por lo que se concluye que los resultados más destacados se encuentran entre Alemania, China y Estados Unidos. No obstante, a pesar de que España cuenta con una economía más madura y políticas energéticas más consolidadas, se obtiene una relación ligeramente baja (0.73) entre el crecimiento económico y la generación de energía renovable comparada con la que presenta México. Esta diferencia podría ser causada por las condiciones globales recientes, como el aumento en la inversión en infraestructura verde y las presiones internacionales para reducir las emisiones, influyendo en que tengan un impacto más significativo en México.

Con un resultado de 0.98 de correlación, se tiene una fuerte relación positiva entre el PIB de China y lo generado en energía renovable, este reconocimiento es de útil importancia, ya que tanto el sector privado como público pueden seguir trabajando en la formulación de políticas y estrategias económicas-energéticas que sigan fomentando este crecimiento económico y sostenible. Por su parte, en Estados Unidos se observa que el coeficiente obtenido es de 0.97, lo que sugiere que el crecimiento económico de este país está asociado con un aumento en la energía limpia.

Mientras que México, al tener un coeficiente de correlación de 0.80, sugiere una relación sólida, pero no perfecta. Por ello, es importante generar interés en el país para que se brinden alternativas hacia el tema del aumento en la demanda de energía y sobre la necesidad de diversificar la matriz energética.

Resultados y discusión

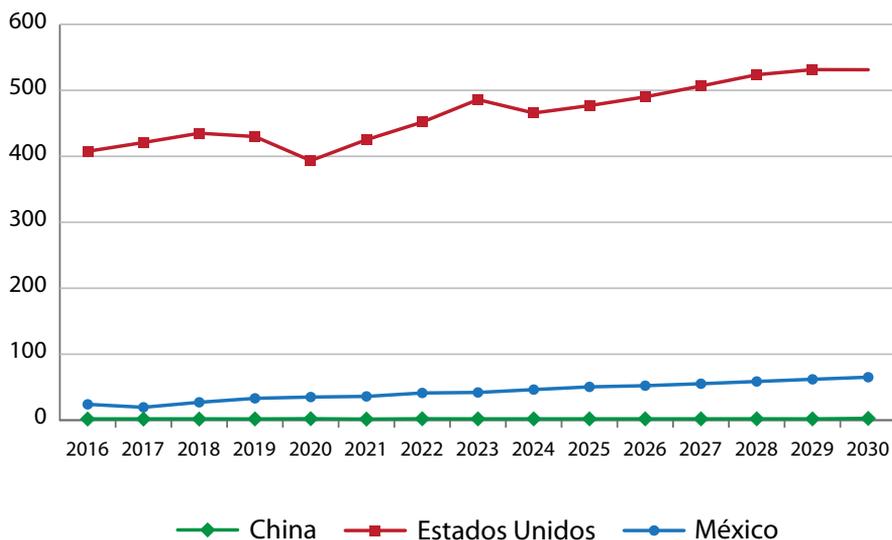
Durante esta investigación se resalta la amplia gama de recursos renovables de energía que posee México. La bioenergía, al ser parte de estos recursos, se presenta como una alternativa con un gran potencial real para contribuir a la descarbonización dentro del sector energético. Además, la contribución de los bonos verdes en el mercado de inversiones ha demostrado ser una opción destacada como instrumentos financieros que buscan mitigar o adaptarse a futuras situaciones.

Por lo tanto, en la gráfica 6.3 se presenta un pronóstico del crecimiento de los bioenergéticos para 2030, obtenido mediante el método de suavización exponencial. Esta metodología asigna mayor peso a los datos más recientes y menos a los antiguos, lo que permite realizar estimaciones más precisas. En particular, se destaca el notable aumento que podría experimentar México si adoptara las estrategias que Estados Unidos y China han implementado, como la emisión de bonos verdes para financiar proyectos de bioenergía.

De acuerdo con las estimaciones pronosticadas tomando en consideración los datos de 2016 a 2023, se espera que la producción de bioenergía

para 2030 en Estados Unidos crezca 14%, China un asombroso 41% y México un notable 37%.

Gráfica 6.3. *Estimación del crecimiento del mercado de bioenergéticos con el uso de bonos verdes para 2030*



Fuente: Elaboración propia 2024.

Con estos datos obtenidos se asegura que, en el corto plazo, la generación de bioenergía siga siendo un segmento con fuerte crecimiento en la República mexicana dado el volumen de proyectos en progreso y las políticas favorables que han sido implementadas para su expansión. Se demuestra que México podría tomar como referencia las experiencias de Estados Unidos y China en la emisión de bonos verdes para desarrollar estrategias adaptadas a su contexto nacional, desde la diversificación de las fuentes de energía hasta la promoción e investigación de tecnología generadora de bioenergía, a fin de promover un crecimiento significativo en este ámbito.

Lo anterior coincide con lo propuesto por Muto Lubota et al. (2016), quienes sugieren que, mediante un adecuado procedimiento de innovación tecnológica y financiera, que sirva como guía para la asimilación de tecnologías de producción de bioenergéticos con un enfoque de tecnologías lim-

pías, es posible incrementar la eficiencia y eficacia de la matriz energética. También se concuerda con lo expuesto por Wang et al. (2024), en donde a nivel global, la preocupación por el medio ambiente actúa como moderador entre los bonos verdes y las inversiones sostenibles.

Si México optará por usar bonos verdes para financiar diferentes proyectos del sector bioenergético, como lo han hecho Estados Unidos y China, se tendría un fuerte impacto dentro de la matriz energética mexicana, no sólo en lo relacionado al fomento del uso renovable, sino también en los niveles de mitigación de CO₂ anual.

Conclusiones

Durante la realización de este trabajo de investigación no se pudo contar con datos suficientes para poder evaluar los bonos verdes en el sector de bioenergía emitidos en México, esto debido a que en el país ningún inversionista o empresa ha decidido destinar un porcentaje de la distribución del bono para este sector, sin embargo, los datos analizados de los bonos verdes utilizados en bioenergía en los otros países permitieron llevar a cabo una mejor comparación de este mercado con la finalidad de visualizar las estrategias y acciones que estos países llevan a cabo para que, de esta manera, se puedan implementar en México.

En relación con la hipótesis, esta se acepta al observar que la comparación de estrategias y proyectos financiados por bonos verdes en países como Alemania, China, Estados Unidos y España ofrece impulsar significativamente el mercado de bioenergéticos en México. Se prevé un aumento de 37% en la producción de bioenergéticos, lo que indica que, al integrar los aprendizajes de estos países y considerar los factores sociales, económicos y políticos pertinentes, México tiene el potencial de transformar su panorama energético en los próximos años.

De manera internacional, todos los países están expuestos a cualquiera de los conflictos que se pueden generar a raíz de los problemas climatológicos, además, ante las inminentes consecuencias derivadas del aumento de consumo energético, muchas empresas ya se han establecido como prioridad el uso de bonos verdes como instrumento de inversión sostenible.

México demostró que aún sin una taxonomía verde nacional pudo llevar a cabo la emisión de 32 bonos verdes de manera exitosa, sólo con el uso y ejecución de las regulaciones y estándares que se tenían, por lo que la publicación de la Taxonomía Sostenible de México en 2023 beneficiará aún más el desarrollo de proyectos que contribuyan al medio ambiente. Así mismo, se encontró que la tasa de crecimiento del PIB en el país, de 2016 a 2023, respecto a la producción de energía renovable generada a partir de la inversión en este tipo de proyectos es de 60%.

No obstante, es menester que el sector privado y público trabajen en conjunto para que se puedan crear más programas de apoyo a proyectos sostenibles, contar con un mejor programa de eficiencia energética y potencializar las estrategias sobre políticas, incentivos fiscales y financiamiento con que se cuentan actualmente para que los impactos positivos generados a partir de estas mejoras se diversifiquen y se evidencien en el área económica, social y ambiental de México.

En lo relacionado a los criterios ASG, se encontró que en México las prácticas de inversión bajo este enfoque aumentaron 295.80% durante 2016 a 2023, lo que sin duda alguna demuestra que, en los últimos años, las inversiones han evolucionado en el campo financiero nacional, transformando una simple inversión hacia un instrumento de cambio para el desarrollo sostenible del país. De este modo, estos criterios se han hecho cada vez más presentes en el desarrollo de productos y servicios por parte de la banca financiera en México, demostrando que el país es un gran competidor internacional en este ámbito. Por lo que, si México está trabajando constantemente para poder alcanzar este desarrollo y crecimiento sostenido, es necesario que la sostenibilidad y las ciencias económicas funcionen de manera holística para que impacten de forma óptima al mercado de la bioenergía.

Es muy importante que se siga trabajando en la mejora continua de la infraestructura actual del país, para que la propuesta que se plantea en esta investigación pueda cumplirse de manera eficiente. Más aún, la implementación de estas fuentes renovables podría llevarse a cabo de manera más rápida si empresas del sector gubernamental fueran las principales interesadas, ya que al contar con los conocimientos y, sobre todo, los medios para su producción, sería más fácil poder lograr una transición sostenible. Por

lo que, a medida que se continúe invirtiendo en la emisión de más bonos verdes destinados a la producción de bioenergía, México seguirá mostrando mayores beneficios sociales y económicos, subrayando la necesidad de destacar la importancia de este sector energético a través de este trabajo.

Referencias

- Battistella, E. C. (2021). *Avances del Biodiesel en Estados Unidos: Un buen ejemplo para Brasil*. Blog Biocombustible avanzado. <http://biocombustivelavancado.com.br/es/2021/06/08/avanco-biodiesel-eua/>
- Bonilla, F. (2022). *El biodiesel, fuente alterna de energía*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.]
- Bioy, H., Stuart, E., Boyadzhiev, D., Pettit, A., y Alladi, A. (2021). European Sustainable Funds Landscape: 2020 in Review. A Year of Broken Records Heralding a New Era for Sustainable Investing in Europe. Morningstar. https://assets.contentstack.io/v3/assets/blt4eb669caa7dc65b2/blt7a208fcfc3d719a8/61ade16b7de7d945b9c4b8cd/European_ESG_Fund_Landscape_2020.pdf
- Centro Nacional de Control de Energía (2021). *Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista. PAMRNT 2021-2035*. CENACE. https://www.cenace.gob.mx/Docs/10_PLANEACION/ProgramasAyM/Programa%20de%20Ampliacion%20de%20Modernizacion%20de%20la%20RNT%20de%20RGD%202021%20-%202035.pdf
- Climate Bonds Initiative (2023). *Sustainable Debt Market Summary Q3 2023*. https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi_susdebtsum_q32023_01e.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2024). *En 2023, la emisión de bonos de América Latina y el Caribe en el mercado internacional se recuperó desde los bajos volúmenes de 2022*. <https://www.cepal.org/es/noticias/2023-la-emision-bonos-america-latina-caribe-mercado-internacional-se-recupero-bajos>
- Consejo Consultivo de Finanzas Verdes (2016). *Caso de estudio. Bono verde NAFF 16V*. <https://www.mexico2.com.mx/uploads/mexico/file/Caso%20de%20Estudio%20-%20NAFF%2016V.pdf>
- Consejo Mexicano de Finanzas Sostenibles (2023). *Estadísticas Bonos MX. Las mejores prácticas en finanzas sostenibles*. <https://cmfs.org.mx/>
- Demirbas, A. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2106-2116. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890408000770>
- Díaz, A. (2006). *Biodiesel como sustituto del gas natural o diésel en calentadores a fuego directo* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/biodie->

- sel-como-sustituto-del-gas-natural-o-diesel-en-calentadores-a-fuego-directo-3536377?c=J9BnAr&d=false&q=*&i=4&v=1&t=search_0&as=0
- Diario Oficial de la Federación (2008). *Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5029330%26fecha=01/02/2008
- EMBER (2022). *Global Electricity Review 2022*. https://ember-climate.org/app/uploads/2022/03/SP_Report-GER22.pdf
- Global Energy Monitor. (2023). *Liderada por China, la capacidad mundial de bioenergía continua su tendencia al alza*. <https://www.globalenergymonitor.org/es/press-release/led-by-china-global-bioenergy-capacity-continues-upward-trend/>
- Grupo Banco Mundial (2015). *¿Qué son los bonos verdes?* <https://documents1.worldbank.org/curated/en/165281468188373879/pdf/99662-REPLACEMENT-FILE-Spanish-Green-Bonds-Box393223B-PUBLIC.pdf>
- Gutiérrez, J. P. (2018). *Situación actual y escenarios para el desarrollo del biogás en México. Hacia 2024 y 2030*. Red Mexicana de bioenergía A. C./Red temática de bioenergía de CONACYT. [hhttps://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/Situacion-actual-y-escenarios-para-el-desarrollo-del-biogas-en-Mexico.pdf](https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/Situacion-actual-y-escenarios-para-el-desarrollo-del-biogas-en-Mexico.pdf)
- Moreno Molina, Á. M., Mancero Bucheli, G., Quinto, J. de, Hernández-Mendible, V. R., Mellado Ruiz, L., Rhein Schirato, V., Rincón Rubiano, D., Pando, L. A., y Santos Ramos, R. (2013). *Regulación comparada de energías renovables*. Universidad Externado de Colombia. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9789587100822_A45366581/preview-9789587100822_A45366581.pdf
- ICEX España Exportación e Inversiones (2023). *El mercado de biocombustibles y combustibles sintéticos en Alemania*. https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/017/documentos/2023/12/estudios-de-mercado/RE_Mercado%20de%20biocombustibles%20y%20combustibles%20sint%C3%A9ticos%20en%20Alemania%202023_REV.pdf
- Instituto Mexicano para la Competitividad (2023). *El PRODESEN 2023-2037 incrementa artificialmente las cifras de generación de energía limpia en México*. <https://imco.org.mx/el-prodesen-2023-2037-incrementa-artificialmente-las-cifras-de-generacion-de-energia-limpia-en-mexico/>
- Martínez-Bravo, R. D., y Masera, O. (2020). Perspectivas de disminución de emisiones de carbono por el uso de la bioenergía: Panorama actual. Elementos para Políticas Públicas, 4(1), 27-42. <https://www.elementospolipub.org/ojs/index.php/epp/article/view/28>
- Mota, A., Hatch T., y Castillo, A. (Eds.) (2002). *Prospectiva de petrolíferos 2002-2011*. Secretaría de Energía. <https://bibliotecas.diputados.gob.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=101975>
- Muto Lubota, D., González Suárez, E., Hernández Pérez, G., y Miño Valdés, J. E. (2016). Modelo conceptual y procedimientos para asimilar tecnologías de producción de bioenergéticos de biomasa residual. *Centro Azúcar*, 43(3), 29-38. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000300004&lng=es&tln-g=es
- National Biodiesel Board (2017). NBB holds firm in request for 2.5 billion gallons of

- biodiesel. Biodiesel Magazine. <https://biodieselmagazine.com/articles/nbb-holds-firm-in-request-for-2-5-billion-gallons-of-biodiesel-2516182>
- Principios para la Inversión Responsable (2021). Una iniciativa de inversores en asociación con la iniciativa financiera del PNUMA y el pacto global de la ONU. UNPRI.
- Red Eléctrica (2023). *La energía renovable producida en 2023 ya supera a la de todo el año pasado*. <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2023/11/la-energia-renovable-espana-producida-en-2023-ya-supera-todo-2022>
- Sánchez, H., y Reyes, C. (2015). *Metodología y diseños en la investigación científica*. Business Support Aneth.
- Sanmartín, I. (9 de septiembre de 2022). *¿Qué son los criterios ASG/ESG y dónde puedo formarme bajo estos criterios?* Rankia. <https://www.rankia.com/blog/mejores-masters-finanzas-mba/5011550-que-son-criterios-asg-esg-donde-puedo-formarme-estos>
- Santiago, J. (21 de septiembre de 2023). *Récord en fondeo ASG, rebasa 100,000 millones de pesos en la BMV en 2023*. El economista. <https://www.economista.com.mx/mercados/Record-en-fondeo-ASG-rebasa-100000-millones-de-pesos-en-la-BMV-en-2023-20230921-0106.html>
- Santos, M., y Ferrera, R. (2017). Bonos verdes: una forma de financiación en continuo crecimiento. *Estrategia Financiera*, (348), 42-48. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5920646>
- Secretaría de Energía (2020). *Balance Nacional de Energía*. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, Dirección General de Planeación e Información Energéticas. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2023). *Taxonomía sostenible de México*. SHCP. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/809773/Taxonom_a_Sostenible_de_M_xico_.pdf
- Vizcarra, A. E. V. (2019). Responsabilidad social de las empresas en situaciones de riesgos y amenazas. *Anuario hispano-luso-americano de derecho internacional*, (24), 185-200. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7222262>
- Wang F., y Jianfang, L. (2024). Green bond and corporate environmental investment: The moderating effect of environmental concern. *Finance Research Letters*, 65, 105607. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105607>