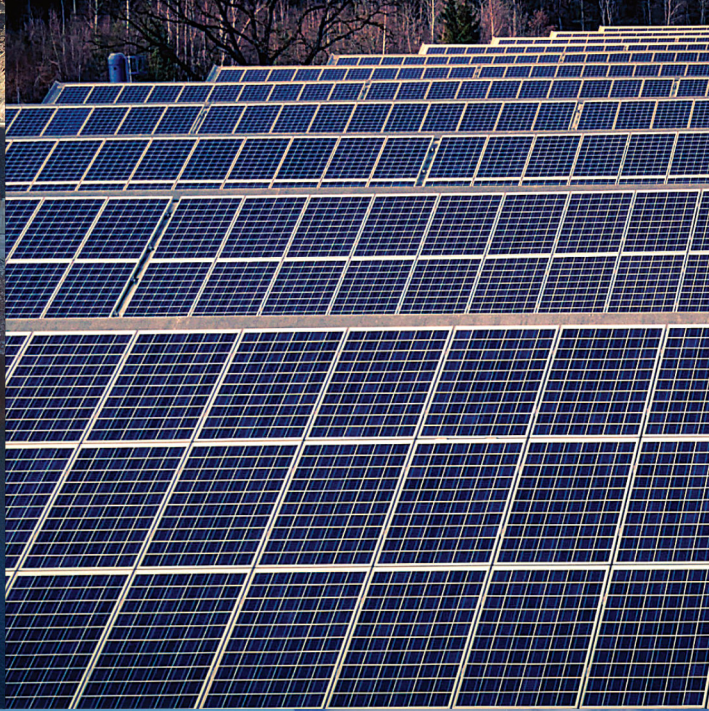


SUPLEMENTO  
OCTUBRE  
2021



# MAYYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS





SUPLEMENTO  
OCTUBRE  
2021



# MAYYA

## REVISTA DE GEOCIENCIAS

**Revista Maya:** Revista Geociencias que nace del entusiasmo de profesionistas con la inquietud de difundir conocimientos relacionados con la academia, investigación, la exploración petrolera y Ciencias de la Tierra en general.

El objetivo principal de la revista es proporcionar un espacio a todos aquellos jóvenes profesionistas que deseen dar a conocer sus publicaciones. Los fundadores de la revista son *Luis Angel Valencia Flores, Bernardo García Amador y Claudio Bartolini*.

Otro de los objetivos de la Revista Maya es incentivar a profesionales, académicos, e investigadores, a participar activamente en beneficio de nuestra comunidad joven de geociencias.

La Revista tendrá una distribución mensual, por medio de un archivo PDF, el cuál será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La revista de geociencias es internacional y bilingüe. Si deseas participar o contribuir con algún manuscrito, por favor comunícate con cualquiera de los editores.

Las notas geológicas tienen como objetivo el presentar síntesis de trabajos realizados en México y en diferentes partes del mundo por jóvenes profesionales y prestigiosos geocientíficos. Son notas esencialmente de divulgación, con resultados y conocimientos nuevos, en beneficio de nuestra comunidad de geociencias. Estas notas no están sujetas a arbitraje.

**Revista Maya:** Revista de Geociencias was originally created with the aim of supporting students and young professionals in the earth sciences, as well as the geoscience communities of the Americas.

The fundamental conception was a magazine that would cover a wide range of earth science themes with a general focus on the western hemisphere for an audience with varied experience in geology and related disciplines. The Magazine is independent and not associated with any geological society or investigative institution, although informal connections have been established with geoscientific associations around the world.

The Revista is prepared by four editors and six collaborators, all volunteers, who are responsible for the compilation, organization and presentation design of the information. It is published monthly with contributions in either Spanish and English.

The Revista is distributed by electronic mail, LinkedIn and Facebook, and plans exist for a webpage where the geoscience community can download the Revista in the future.

The Revista includes, among other topics, a section entitled "Geological Notes" wherein manuscripts sent by geoscientists from different parts of the world are published.

With this issue, eight numbers of the Magazine have been distributed and it has achieved wide acceptance by our readers, with a flow of contributions for future issues. Contributions and commentary for the editors are always welcome.

*\*Es importante aclarar, que las opiniones científicas, comerciales, culturales, sociales etc., no son responsabilidad, ni son compartidas o rechazadas, por los editores de la revista.*

# EDITORES



**Luis Angel Valencia Flores** (M.C.). Ingeniero Geólogo y Maestro en Ciencias en Geología, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura-Unidad Ticomán. Ha trabajado en el IMP, Pemex Activo Integral Litoral de Tabasco, Schlumberger, Paradigm Geophysical, Comisión Nacional de Hidrocarburos, Aspect Energy Holdings LLC, actualmente es académico del IPN (posgrado y licenciatura) y la UNAM (licenciatura) impartiendo las materias de Evaluación de formaciones, Caracterización de yacimientos, Geología de yacimientos, Geoquímica, entre otras del ramo petrolero. Cuenta con experiencia de 20 años trabajando en diversos proyectos de planeación y

perforación de campos, pozos costa afuera, petrofísica, geomodelado y caracterización de yacimientos entre ellos: Cantarell, Sihil, Xanab, Yaxche, Sinan, Bolontiku, May, Onixma, Faja de oro, campos de Brasil, Bolivia y Cuba. Como Director General Adjunto en la CNH fue parte del equipo editor técnico en la generación de los Atlas de las Cuencas de México, participó como ponente del Gobierno de México en eventos petroleros de Canadá, Inglaterra y Estados Unidos. Es Technical Advisor del Capítulo estudiantil de la AAPG-IPN.

[luis.valencia.11@outlook.com](mailto:luis.valencia.11@outlook.com)



**Bernardo García-Amador** es candidato a doctor en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Su especialidad es la tectónica, así como sus causas y consecuencias. Actualmente, se encuentra terminando su tesis de doctorado relacionada a la evolución tectónica de Nicaragua (Centroamérica) e imparte clases en la Facultad

de Ingeniería de la UNAM como profesor de la asignatura de Tectónica. Bernardo publicó recientemente parte de su trabajo de disertación en la revista *Tectonics*, y un segundo manuscrito ha sido aceptado para su publicación en *Tectonophysics*.

[bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)



**Josh Rosenfeld** (Ph.D.). He obtained an M.A. from the University of Miami in 1978, and a Ph.D. from Binghamton University in 1981. Josh joined Amoco Production Company as a petroleum geologist working from 1980 to 1999 in Houston, Mexico and Colombia. Upon retiring from Amoco, Josh was employed by Veritas DGC until

2002 on exploration projects in Mexico. He has been a member of HGS since 1980 and AAPG since 1981, and currently does geology from his home in Granbury, Texas.

[jhrosenfeld@gmail.com](mailto:jhrosenfeld@gmail.com)



**Claudio Bartolini** (Ph.D.) is presently a senior exploration advisor at Petroleum Exploration Consultants Americas. He has more than 25 years of experience in both domestic and international mining and petroleum exploration, mainly in the United States and Latin America.

Claudio is an associate editor for the AAPG Bulletin and he has edited several books on the petroleum geology of the Americas. He is a Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

[bartolini.claudio@gmail.com](mailto:bartolini.claudio@gmail.com)

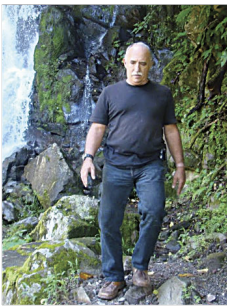
# COLABORADORES



**Salvador Ortuño Arzate** received his M. Sc. from the National Autonomous University of Mexico (UNAM) and his Ph.D. from the Université de Pau and Pays de l'Adour (UPPA) in France. He has been a researcher at the Instituto Mexicano del Petróleo and the Institut Français du Pétrole, focusing his work on the Exploration Petroleum field. Salvador has published several papers and a book, "El Mundo del Petróleo" (Petroleum's world),

examining and shedding light on the history of petroleum and the implications for the society. Also, he has worked as an advisor for several universities and national corporations. Lastly, he has served as faculty and has taught different courses at the Secretariat of National Defense and at the Engineering School of U.N.A.M.

[soaortuno@gmail.com](mailto:soaortuno@gmail.com)



El ingeniero cubano **Humberto Álvarez Sánchez** culmina 54 años como geólogo. Realizó estudios en la Cordillera de Guaniguanico y en su premontaña y en los macizos metamórficos, volcánicos y ofiolíticos de Cuba central. Autor de 18 formaciones y litodemas de la estratigrafía cubana. Descubridor del único depósito industrial de fosforitas marinas de Cuba. Miembro de la subcomisión Jurásico del primer Léxico Estratigráfico de Cuba. Como Country Manager y Senior Geologist de compañías canadienses, panameñas y de Estados Unidos, dirigió exploraciones en complejos del Paleozoico-Mesozoico en tres Estados de

Brasil, en los greenstone belts de Uruguay; Andes de Perú y complejos volcánicos de Honduras y Panamá y otros países. Miembro de la Comisión Ministerial "Ad Honorem" del Plan Maestro de Minería de Panamá, fue Consultor Senior del Banco Interamericano de Desarrollo para el proyecto geocientífico del país. Formely Miembro del Consejo Científico de Geology Without Limits. Formerly Representante para América Central del Servicio Geológico de la Gran Bretaña. Retirado en Panamá, se ocupa de redactar estudios sobre la geología de Cuba.

[geodoxo@gmail.com](mailto:geodoxo@gmail.com)

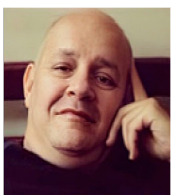


**Ramón López Jiménez** es un geólogo con 14 años de experiencia en investigación y en varios sectores de la industria y servicios públicos. Es un especialista en obtención de datos en campo, su análisis y su conversión a diversos productos finales. Ha trabajado en EEUU, Mexico, Colombia, Reino Unido, Turquía y España. Su especialidad es la sedimentología marina de aguas profundas. Actualmente realiza investigación en

afloramientos antiguos de aguas someras y profundas de México, Turquía y Marruecos en colaboración con entidades públicas y privadas de esos países. Es instructor de cursos de campo y oficina en arquitectura de yacimientos de aguas profundas y tectónica salina por debajo de la resolución sísmica.

[r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk](mailto:r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk)





**José Antonio Rodríguez Arteaga** es un ingeniero geólogo con 31 años de experiencia en investigación de geología de terremotos y riesgo geológico, asociado o no a la sismicidad. Es especialista en sismología histórica e historia de los sismos en Venezuela, recibiendo entrenamiento profesional en Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos, Bogotá, Colombia. En sus inicios profesionales y por 5 años consecutivos, fue geólogo de campo, trabajando en prospección de yacimientos minerales no- metálicos en la región centro

occidental de Venezuela. Tiene en su haber como autor, coautor o coordinador, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX, al pensamiento sismológico venezolano y un Atlas geológico de la región central del país, preparado de manera conjunta con la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. Actualmente prepara un cuarto texto sobre los estudios de un inquieto naturalista alemán del siglo XIX y sus informes para los terremotos destructores en Venezuela de los años 1812, 1894 y 1900.

[rodriguez.arteaga@gmail.com](mailto:rodriguez.arteaga@gmail.com)



**Saúl Humberto Ricardez Medina** es pasante de Ingeniería Geológica, miembro activo del capítulo estudiantil de la AAPG del Instituto Politécnico Nacional, participó en el X Congreso Nacional de Estudiantes de Ciencias de la Tierra como Expositor del trabajo "Análisis de Backstripping de la Cuenca Salina

del Istmo". Actualmente, se encuentra trabajando en su tesis de licenciatura relacionada a identificar y reconocer secuencias sedimentarias potencialmente almacenadoras de hidrocarburos en las cuencas del sureste.

[ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com](mailto:ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com)



**Miguel Vazquez Diego Gabriel**, es estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniería), sus principales áreas de interés a lo largo de la carrera han sido la tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un

entusiasta de la divulgación científica, sobre todo en el área de las Ciencias de la Tierra.

[diegogabriel807@gmail.com](mailto:diegogabriel807@gmail.com)

El nuevo diseño de la Revista Maya de Geociencias fue realizado por Manuel Arribas, un gran fotógrafo y excelente diseñador gráfico Español. <https://manuelarribas.es/>

## Instrucciones básicas para los autores

**Apreciables autores, al someter su material para la publicación en la Revista Maya de Geociencias, por favor mantener los siguientes lineamientos editoriales de su manuscrito al momento de enviarlo al equipo editorial y colaboradores:**

**Semblanzas: 3 páginas máximo.**

**Notas sobre pioneros de las geociencias: 4 páginas máximo.**

**Los "temas de interés para la comunidad": 4 páginas máximo.**

**Notas geológicas: 10 páginas máximo.**

# EDICIÓN ESPECIAL



**Saúl Humberto Ricardez Medina** pasante de Ingeniería Geológica por el Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, ESIA Ticomán Unidad Ciencias de la Tierra, al igual que miembro activo del capítulo estudiantil de la AAPG del Instituto Politécnico Nacional fungiendo como secretario.

Participé en el X Congreso Nacional de Estudiantes de Ciencias de la Tierra (XCNECT) Sede Juriquillas, Querétaro como Expositor del trabajo “Análisis de Backstripping de la Cuenca Salina del Istmo”. Durante mi formación académica como geólogo he estado enfocado a la industria petrolera, principalmente en las ramas de geología estructural, estratigrafía de secuencias, análisis de cuencas e integración de datos geológicos y geofísicos con especial interés en yacimientos petroleros con tectónica salina. Aunado a eso, no me cierro a ninguna rama o área del conocimiento debido a que me considero una persona muy curiosa, a la que le gusta mucho aprender cosas nuevas sobre cualquier tema.

Actualmente llevo participando seis meses como colaborador con la Revista Maya de Geociencias integrandome al equipo de trabajo desde la revista número 5 de junio del 2021. Mi participación ha consistido principalmente en la redacción de algunos segmentos de la revista como lo son ¿Qué es “algún tipo de fuente de energía alterna”? en la cual redacto los aspectos más importantes sobre un tipo de energía alterna, así como sus principales características a considerar y su participación en un contexto global y en México, “Glosario de términos geológicos” el cual contiene palabras utilizados en el área de geociencias en general, soy el encargado de la recopilación de fotografías de estudiantes del área de geociencias y la comunidad de geociencias en general, y en ocasiones realizó la semblanza de algunos de los fundadores de la geología moderna.

Actualmente, me encuentro trabajando en mi tesis de licenciatura participando en un proyecto de investigación relacionado a identificar y reconocer secuencias sedimentarias potencialmente almacenadoras de hidrocarburos en las Cuencas del Sureste, el cual tiene como objetivo proponer futuras zonas de interés petrolero realizando una integración de datos geológicos y geofísicos. Mi participación en dicho proyecto es realizar el análisis e interpretación estratigráfica, sedimentológica y estructural del área de estudio, además de apoyar al momento de la integración de la información para la realización del modelo sedimentario regional.



# ENERGÍAS ALTERNATIVAS

## ¿Qué es la energía hidroeléctrica?

Comenzando con el agua que es una de las fuentes de energía más antiguas utilizadas por el ser humano, fundamental para la vida, la producción de alimentos y la higiene. Y también es el origen de uno de los tipos de energía renovable más extendidos, la energía hidroeléctrica.

La energía hidroeléctrica es electricidad generada aprovechando la energía del agua en movimiento, la lluvia o el agua de deshielo, provenientes normalmente de colinas y montañas en los cuales se crean arroyos y ríos que desembocan en el océano. La energía que generan esas corrientes de agua puede ser considerable. Para aprovechar dicha fuerza, se construyen grandes infraestructuras hidráulicas llamadas centrales hidroeléctricas capaces de extraer el máximo potencial de este recurso renovable, libre de emisiones y autóctono. Según el informe de 2019 de la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA), la capacidad total de las centrales hidroeléctricas en todo el mundo es de 1.172 GW, lo que representa alrededor del 50% del total de las fuentes de energía renovable.

### Tipos de centrales hidroeléctricas

La central hidroeléctrica transforma la energía hidráulica de un curso de agua, natural o artificial, en electricidad renovable. El proceso tiene lugar en varios pasos y se basa en la transformación de la energía potencial contenida en las masas de agua, situadas a mayor altitud respecto a las turbinas de la central. Las centrales hidroeléctricas se pueden dividir en tres macro categorías, según el tipo de sistema que se utilice: centrales de agua fluyente, centrales de embalse y centrales de bombeo o reversibles.

**Centrales de agua fluyente o pasada:** Se utiliza la velocidad del caudal natural de un río situado en dos niveles diferentes. El agua se transporta a través de un canal de derivación con o sin la ayuda de tuberías forzadas y llega hasta las turbinas. Así pues, la potencia de la central depende principalmente de la velocidad del agua que pasa de un nivel a otro, el llamado salto, y del caudal del río.

**Centrales de embalse:** Se utiliza un embalse aguas arriba, que puede ser natural como en el caso de un lago o de manera artificial conseguido gracias a la construcción de una presa. El agua se transporta a través de las tuberías forzadas de la

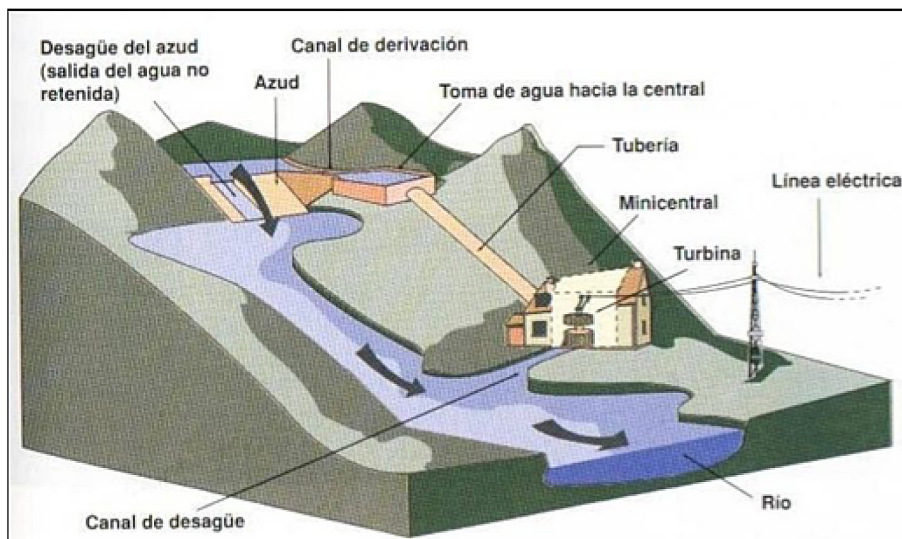


Figura 1: Esquema de central hidroeléctrica de agua fluyente o pasada  
Tomada de: Zúñiga, J. (2018).

presa hasta las turbinas de agua, que generan energía mecánica por rotación que luego se convierte en electricidad en el generador eléctrico rotatorio.

**Centrales de bombeo o reversibles:** Tienen dos embalses a diferentes alturas, uno aguas arriba y la otra agua abajo; este último actúa como reserva de energía. Durante las horas o momentos de menor demanda de energía, el agua se bombea desde el embalse aguas abajo hasta el embalse aguas arriba mediante una estación de bombeo, lo que permite lidiar con seguridad con los momentos de mayor demanda energética. En algunas centrales se pueden utilizar las características de reversibilidad de las turbinas para convertirlas en bombas y devolver el agua al embalse aguas arriba.

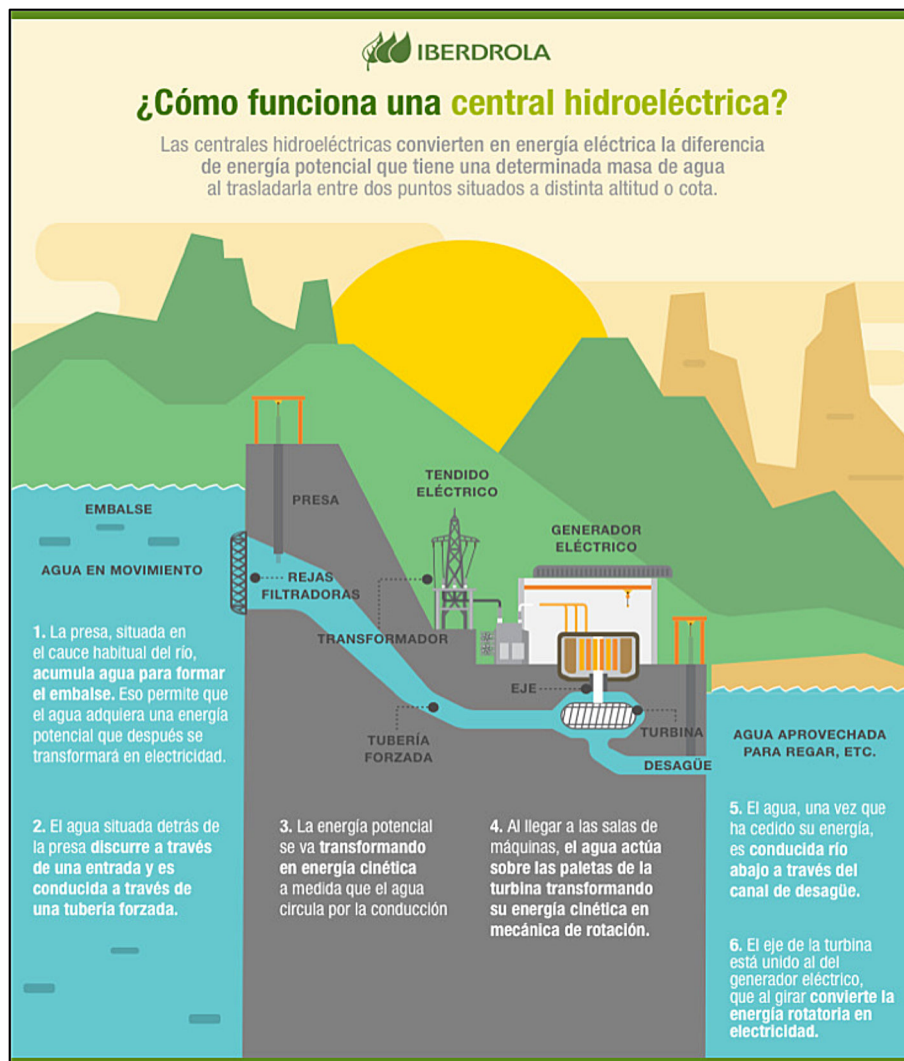


Figura 2: Central hidroeléctrica de embalse Tomada de: IBERDROLA.

La tecnología hidroeléctrica de bombeo es actualmente el sistema mas eficiente para almacenar energía a gran escala. Por ser mas rentable, aportar estabilidad, seguridad y sostenibilidad al sistema eléctrico, al generar una gran cantidad de energía en tiempos muy cortos y sin crear ningún tipo de emisión a la atmosfera.

#### La energía hidroeléctrica en el mundo



Según el informe de 2021 de la Asociación Internacional Hidroeléctrica (IHA), el sector hidroeléctrico registro un de producción de generación de 4,370 terawatts hora (TWh) de electricidad limpia en 2020 siendo mayor al registro en 2019 de 4,306 TWh. Que al contextualizarlo es aproximadamente lo mismo que todo el consumo anual de electricidad de los Estados Unidos.

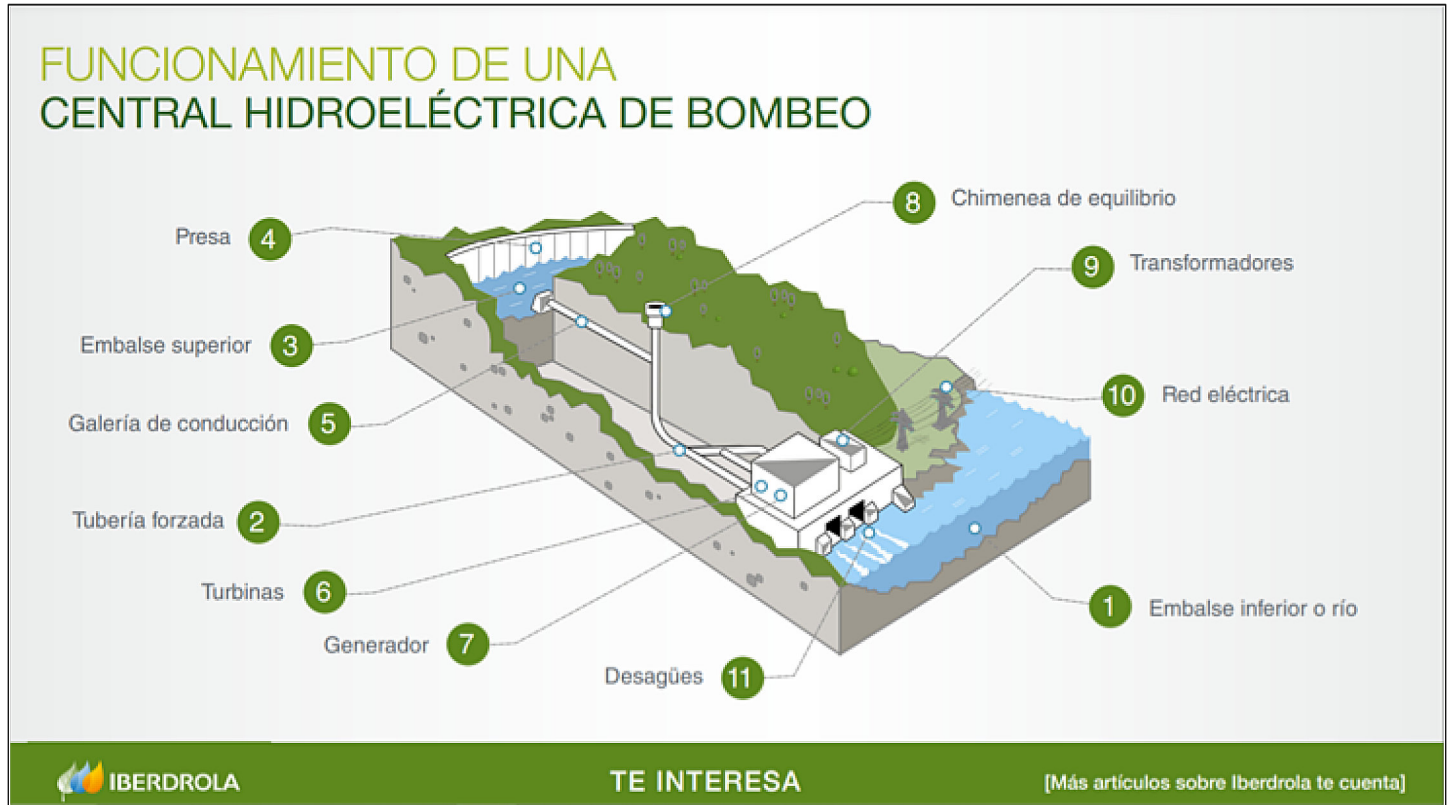


Figura 3: Central hidroeléctrica de bombeo Tomada de: IBERDROLA.

En general la capacidad de hidroeléctricas instaladas fue de 1,330 gigawatts (GW) en 2020. Esto representa año con año un crecimiento de 1.6% mas que en 2019 pero aún muy por debajo de los más de 2% necesario para permitir la contribución esencial de la energía hidroeléctrica para hacer frente al cambio climático.

Durante 2020, se pusieron en funcionamiento proyectos hidroeléctricos por un total de 21 GW de capacidad, estando por encima de los 15.6 GW de 2019. Casi dos tercios de este crecimiento provino de China que registro 13,8 GW de nueva capacidad. Entre otros países destacados que agregaron nueva capacidad en 2020, solo Turquía (2.5 GW) agrego más de 1 GW.

La energía hidroeléctrica de almacenamiento por bombeo creció 1.5 GW en capacidad, por encima de los 304 MW adicionados en 2019. Gran parte de esto fue en China (1.2 GW), con Israel también gracias al proyecto Mount Gilboa de 300 MW bajo un innovador modelo de financiamiento.

China continúa siendo líder con respecto a la capacidad de energía hidroeléctrica instalada con mas de 370 GW, seguido de Brasil (109 GW), Estados Unidos de América (102 GW), Canadá (82 GW) e India (50 GW) siendo así los cinco primeros. Japón y Rusia están justo detrás de la India, seguidos por Noruega (33 GW) y Turquía (31 GW).

#### **La energía hidroeléctrica en México**

De acuerdo con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2011), los recursos hidráulicos mundiales representan un potencial de energía por aprovechar que se estima en 36 000 TWh; sin embargo, el margen de aprovechamiento que

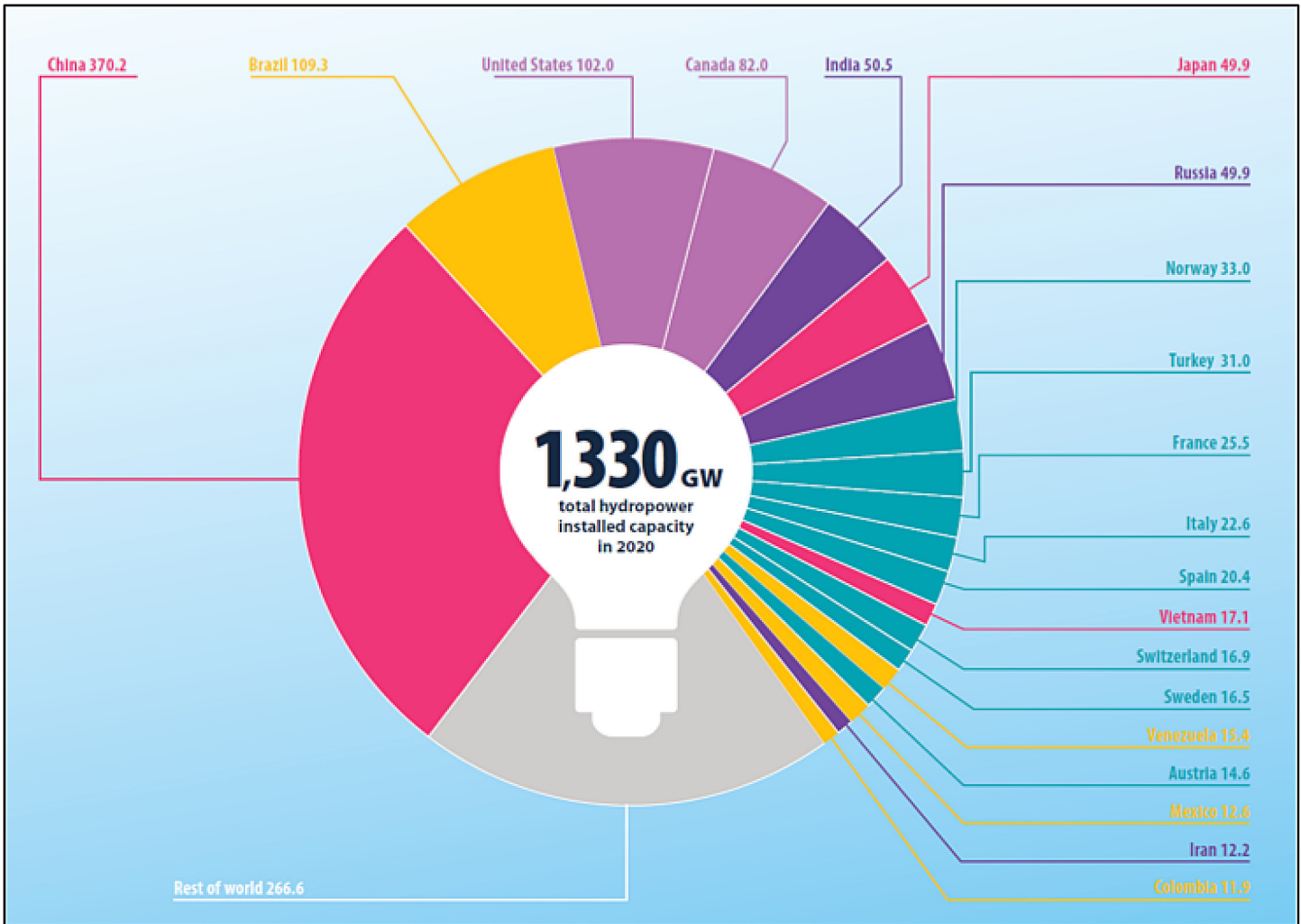


Figura 4: Top 20 países productores de energía hidroeléctrica y su capacidad instalada en 2020  
Tomada de: International Hydropower Association (IHA) (2021).

se tiene estimado es de 15 000 TWh (al año 2011); de este valor, aproximadamente el 1% es el potencial calculado para México, es decir, 159 TWh anuales.

El proyecto con mayor desarrollo hidroeléctrico de México después de 1937, con 4 800 MW, se localiza en la cuenca del río Grijalva y está integrado por las centrales Angostura (Belisario Domínguez), Chicoasén (Manuel Moreno Torres), Malpaso (Netzahualcóyotl) y Peñitas (Ángel Albino Corzo). El cual a diciembre de 2008 representaba 42.3% de la capacidad hidroeléctrica total en operación.

La tendencia actual es que algunos países en vías de desarrollo, como México, direccionan su parque eléctrico al aprovechamiento del uso de recursos renovables; dicha tendencia ya se observa en algunos países latinoamericanos, como Brasil, Argentina, Venezuela y Colombia; para ello, desde la última década del siglo XX, han realizado significativos esfuerzos, con objeto de lograr un mayor aprovechamiento de sus sectores eléctricos y la generación de progreso.

En México, a partir de 1987, innovando el manejo de las finanzas públicas, se diseñó un nuevo mecanismo de inversión denominado Proyectos de Infraestructura Productiva de Largo Plazo de impacto Diferido en el Gasto, también conocido como Proyectos de Impacto Diferido en el Registro del Gasto (Pidiregas), que desde el año 1988, con el gobierno del entonces presidente Carlos Salinas de Gortari, se ha venido utilizando de forma creciente en el sector energético.



Es por ello, que México, siguiendo este esquema, concluyó la construcción del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca en noviembre de 2012, un megaproyecto hidroeléctrico, con 750 MW de capacidad instalada y que evidentemente requiere de la participación de la iniciativa privada para salvaguardar las finanzas públicas; buscar invertir el capital privado para luego recuperar la inversión cuando esté generando la central hidroeléctrica.

México debe apostar a la generación de energía por medio de las centrales hidroeléctricas, pues el futuro que se vislumbra viene rodeado de una responsabilidad ambiental en pro de un desarrollo sustentable en ese sentido sobresalen las centrales hidroeléctricas, que en el parque eléctrico mexicano pueden promover el desarrollo sustentable, al ser socialmente aceptables, ambientalmente factibles y económicamente viables, es decir, sustentables. Las centrales hidroeléctricas son el futuro de la generación de energía eléctrica en México, son detonadoras de progreso y desarrollo económico en los lugares de afectación, lo cual, con la política mundial actual y en la lucha contra el calentamiento global, cobra relevancia como la fuente de generación de energía eléctrica en México más fuerte utilizando recursos renovables que no contaminan y no promueven el efecto de gas invernadero.

Las energías renovables no han sido un punto medular en México, sobre todo porque se considera al petróleo como fuente medular de progreso. Un poco más del 85% de la energía consumida en el territorio mexicano proviene de fuentes fósiles. A partir del descubrimiento en los años setenta del yacimiento petrolero Cantarell, las centrales termoeléctricas se volvieron rentables y disminuyó el interés en las centrales que utilizaban recursos renovables.

Sin embargo, a partir de la conciencia mundial en torno al llamado cambio climático, se ha detonado el interés por el desarrollo de centrales hidroeléctricas debido a que no usan combustibles fósiles. De las centrales que utilizan recursos renovables con las que México genera energía eléctrica, las más factibles son las centrales hidroeléctricas. La historia muestra que la ingeniería mexicana ha buscado un crecimiento en el aprovechamiento del recurso hídrico, pero México todavía depende en gran medida de centrales que utilizan combustibles fósiles; sin embargo, la política actual es buscar un desarrollo sustentable.

## Bibliografía

Endesa Fundación. (S/n). Central hidroeléctrica. septiembre 10, 2021, de Endesa Fundación Sitio web: <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-hidroelectrica>

Enel Green Power. (S/n). Central hidroeléctrica. septiembre 10, 2021, de Enel Green Power Sitio web: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/central-hidroelectrica>

Enel Green Power. (S/n). Embalse. septiembre 10, 2021, de Enel Green Power Sitio web: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/embalse>

Enel Green Power. (S/n). La energía hidroeléctrica. Septiembre 10, 2020, de Enel Green Power Sitio web: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica>

Enel Green Power. (S/n). Presa. septiembre 10, 2021, de Enel Green Power Sitio web: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/presa>

IBERDROLA. (S/n). ¿Sabes cómo funcionan las centrales hidroeléctricas? septiembre 12, 2021, de IBERDROLA Sitio web: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-hidroelectrica>

IBERDROLA. (S/n). CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO. septiembre 12, 2021, de IBERDROLA Sitio web: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/central-hidroelectrica-bombao>

International Hydropower Association (IHA). (2021). 2021 Hydropower Status Report. septiembre 10, 2021, de International Hydropower Association (IHA) Sitio web: <https://www.hydropower.org/publications/2021-hydropower-status-report>

Ramos-Gutiérrez, M & Montenegro-Fragoso, M. (junio 2, 2012). Las centrales hidroeléctricas en México: pasado, presente y futuro. Septiembre 10, 2021, de Tecnología y Ciencia del Agua Sitio web: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/09/Las-centrales-hidroel%C3%A9ctricas-en-M%C3%A9xico-pasado-presente-y-futuro.pdf>

Zúñiga, J. (2018). Energía Hidráulica. Septiembre 10, 2021, de Slideplayer Sitio web: <https://slideplayer.es/slide/12147636/>

# ¿Qué es la energía geotérmica?

La geotermia es el campo de la ciencia dedicado al estudio del calor existente debajo de la superficie de la Tierra. También se conoce con el mismo nombre al proceso por el cual se extrae la energía geotérmica para su posterior uso como energía eléctrica, principalmente. La energía geotérmica se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre en forma de calor y ligada a volcanes, aguas termales, fumarolas y géiseres. Proviene del calor interno de la Tierra, un calor que se alimenta, por un lado, de la desintegración de isótopos radiactivos, y por otro, de movimientos diferenciales entre las distintas capas que constituyen la Tierra, así como del calor latente de la cristalización del núcleo externo. Es, en su más amplio sentido, la energía calorífica que la tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre.

Se denomina recurso geotérmico a la porción de calor desprendido desde el interior de la Tierra que puede ser aprovechado por el hombre en condiciones técnicas y económicas. Es decir, tan sólo la fracción de calor del globo, que las técnicas que en cada momento estén disponibles permitan un aprovechamiento en condiciones económicas adecuadas, se considera como recurso geotérmico. Cuando se dan las circunstancias adecuadas para que unos materiales permeables llenos de agua intercepten el flujo de calor desde el interior del globo, y a su vez estos materiales se encuentren suficientemente "sellados" en su parte inferior y superior por materiales impermeables, se dan las condiciones favorables para la existencia de un yacimiento geotérmico. De este modo, las condiciones clásicas para la existencia de un yacimiento geotérmico son la presencia de:

- Un foco de calor activo.
- Un material permeable con su base impermeable (el almacén geotérmico) por el que circula un fluido (en general agua de origen meteórico, en fase líquida o vapor).
- Una cobertura o sello que impida (o al menos limite) el escape del fluido.

Se conoce, así como yacimiento geotérmico el espacio de la corteza terrestre en el que se localizan materiales permeables que albergan un recurso geotérmico susceptible de ser aprovechado por el hombre.

Los yacimientos geotérmicos convencionales se clasifican de acuerdo con los niveles energéticos de los recursos que albergan, es decir, de los fluidos en ellos contenidos.

Por lo tanto, se pueden clasificar en:

- Yacimientos de alta entalpía en los que se cumplen las condiciones clásicas de existencia de un yacimiento y el foco de calor permite que el fluido se encuentre en condiciones de presión y alta temperatura (superior al menos a los 150°C). Las características termodinámicas del fluido permiten su aprovechamiento para producción de electricidad.
- Yacimientos de media entalpía en los que los fluidos se encuentran a temperaturas situadas entre los 100 y los 150°C, lo que permite su uso para producción de electricidad mediante ciclos binarios que, en general, tienen rendimientos algo inferiores.
- Yacimientos de baja entalpía, cuando la temperatura del fluido es inferior a los 100°C y su aplicación son los usos directos del calor (calefacción, procesos industriales y usos en balneoterapia).

El proceso básico inicia con la perforación, se hace un pozo hasta llegar al yacimiento y mediante una red de tuberías se dirigen los fluidos con alta temperatura y presión hacia la planta. Ahí se separa el agua del vapor, éste se limpia y se hace pasar por una turbina que está conectada a un generador eléctrico, de forma tal que, al girar la turbina, y gracias a las leyes del electromagnetismo, se genera electricidad. El vapor se condensa y, al igual que el agua separada inicialmente, se reinyectan al subsuelo para mantener en equilibrio el yacimiento (Figura 1).

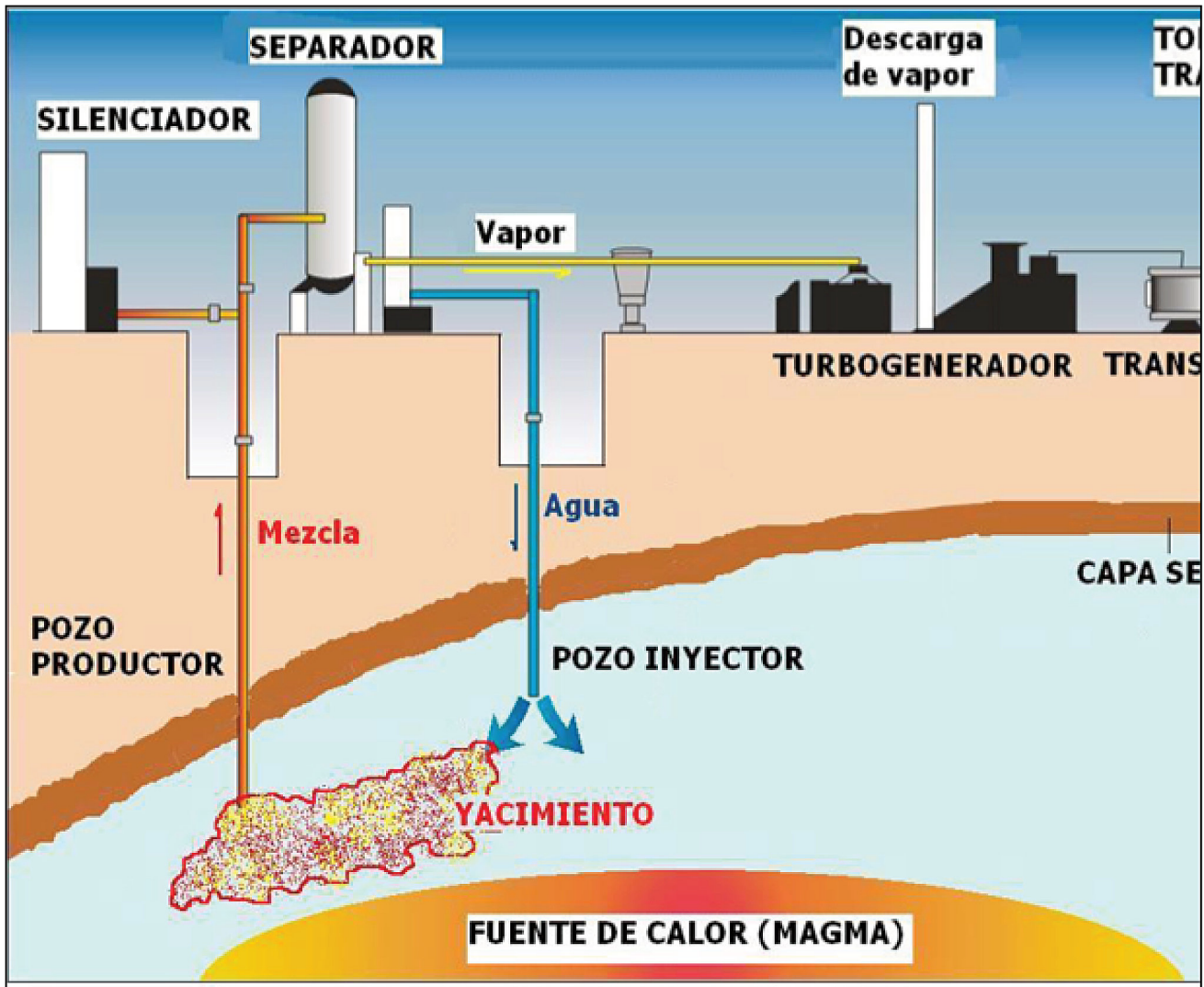


Figura 1: Modelo esquemático de un yacimiento geotérmico Tomado de: (Maya, R & Gutiérrez, L. diciembre 10, 2007)

### En México hay cinco plantas geotérmicas:

Cerro Prieto en Baja California, que es un campo de tipo sedimentario, en el cual los fluidos geotérmicos están alojados en areniscas, la fuente de calor es debido a una anomalía térmica formada por el adelgazamiento de la corteza que ocurre en la cuenca transtensional en la que se formó el yacimiento, asociado a la prolongación sur del sistema de fallas activas de San Andrés. Su capacidad actual instalada de 520MW siendo la más grande de México, además, es la tercera planta más grande a nivel mundial.

Los Azufres en Michoacán, es un campo en un complejo volcánico a 2,800 m de altitud. A diferencia de Cerro Prieto, Los Azufres es un campo de tipo volcánico cuyos fluidos geotérmicos están contenidos en rocas de tipo andesítico, La Comisión Federal de Electricidad (CFE) opera una capacidad total de 248MW.

Los Humeros en Puebla, Es otro campo volcánico ubicado en la parte oriental de la Faja volcánica transmexicana en los límites de los estados de Puebla y Veracruz, en el interior de una caldera volcánica cuaternaria cuyas últimas erupciones ocurrieron hace 20 mil años. El campo está a unos 2,600 m sobre el nivel del mar, las rocas que almacenan los fluidos geotérmicos son andesíticas y estos fluidos tienen temperaturas medidas del orden de hasta los 400°C.



Las Tres Vírgenes en Baja California Sur, es un campo volcánico, pero ubicado en la parte media de la Península de Baja California. El campo está dentro de un complejo de tres volcanes cuaternarios alineados de norte a sur, y la fuente de calor parece estar relacionada con la cámara magmática del volcán más reciente llamado La Virgen.

Domo San Pedro en Nayarit, el campo se ubica en el sector más occidental de la faja volcánica transmexicana y más particularmente en el graben Tepic-Chapala con presencia de dacitas y riolitas siendo así la fuente de calor principal el gran número de cámaras magmáticas a su alrededor producto del vulcanismo. Con una producción en conjunto total de 981 MW, México se encuentra en el sexto puesto a nivel mundial. Sin embargo, la energía generada en esas plantas representa únicamente el 1.84% de la energía eléctrica total del país.

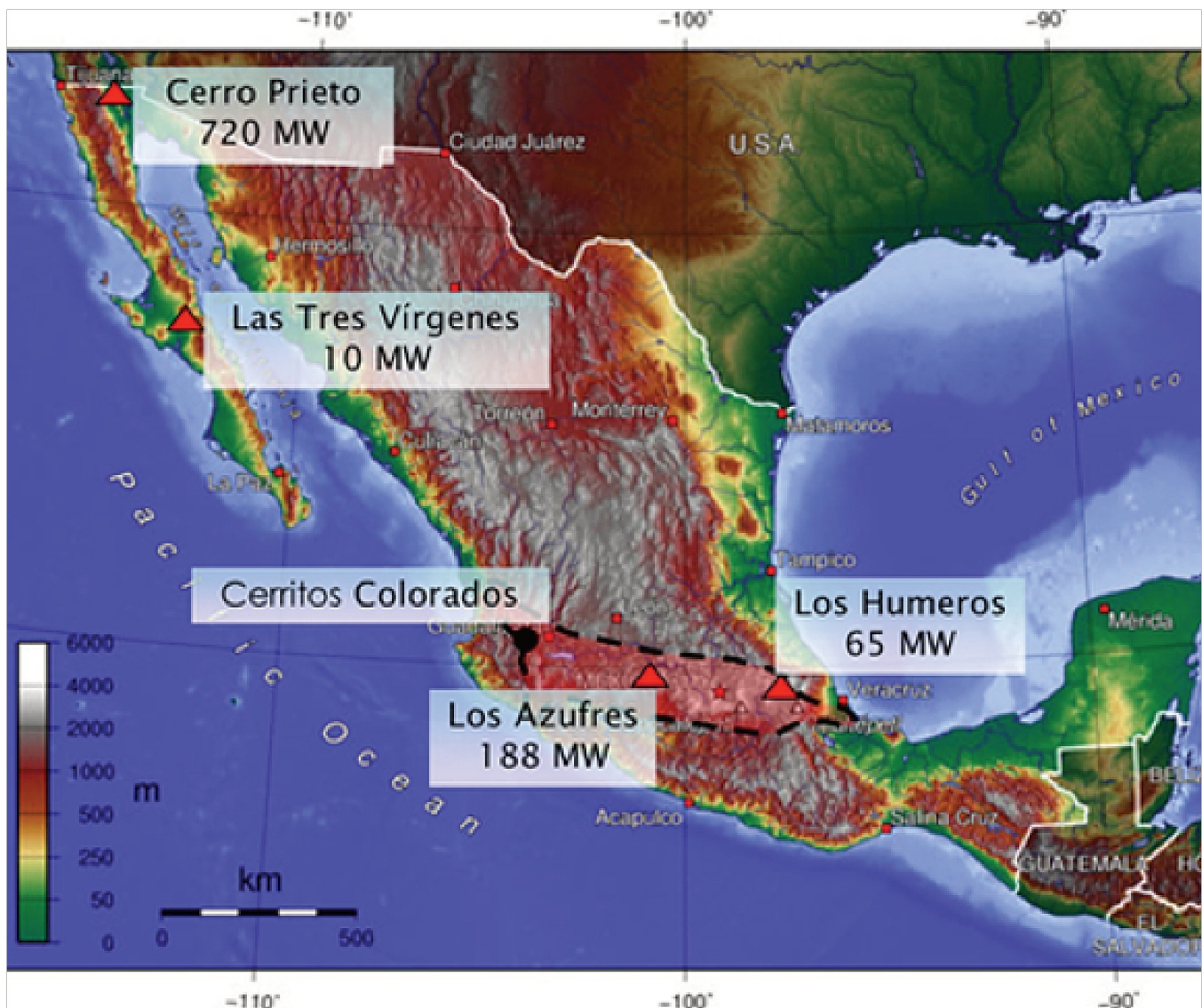


Figura 2: Mapa de los campos geotérmicos en México. Modificado de Suarez (2017).

### Bibliografía consultada

Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) & Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (junio, 2008). Manual de geotermia. Junio 13, 2021, de Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) Sitio web: [https://www.igme.es/Geotermia/Ficheros%20PDF/Manual\\_Geotermia\\_2,5.pdf](https://www.igme.es/Geotermia/Ficheros%20PDF/Manual_Geotermia_2,5.pdf)

IEA Geothermal. (Julio, 2020). 2019 Annual Report. Junio 13, 2021, de IEA Geothermal Sitio web: <http://iea-gia.org/publications-2/annual-reports/>

Ingeoexpert. (junio 8, 2018). Geotermia: qué es y cómo funciona la energía geotérmica. Junio 13, 2021, de Ingeoexpert Sitio web: <https://ingeoexpert.com/2018/06/08/que-es-la-geotermia/>

Maya, R & Gutiérrez, L. (diciembre 10, 2007). Recursos geotérmicos para generar electricidad en México. Junio 13, 2021, de Revista Digital Universitaria Sitio web: [http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art91/dic\\_art91.pdf](http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art91/dic_art91.pdf)

Montiel, A & Romo, J. (2019). Conociendo el interior de nuestro planeta: energía electromagnética y geotermia. México.: división de Ciencias de la Tierra, CICESE.

PIENSA EN GEOTERMIA. (S/N). Geotermia. Junio 13, 2021, de PIENSA EN GEOTERMIA Sitio web: <https://www.piensageotermia.com/geotermia/>

Servicio Geológico Mexicano (SGM). (marzo 27, 2017). Geotermia. Junio 13, 2021, de Servicio Geológico Mexicano Sitio web: [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Geotermia.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Geotermia.html)

Suarez, M. (2017). ¿Es cierto que México tiene mucho potencial para la generación de energía geotérmica? Junio 13, 2021, de Quora Sitio web: <https://es.quora.com/Es-cierto-que-M%C3%A9xico-tiene-mucho-potencial-para-la-generaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa-geot%C3%A9rmica/answer/Mario-C%C3%A9sar-Su%C3%A1rez-Arriaga>

# ¿Qué es la energía eólica?

La energía eólica es la energía que se obtiene del viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire. Esta energía la podemos convertir en electricidad a través de un generador eléctrico. La energía eólica o del viento ha sido utilizada por cientos de años para molienda de granos, bombeo de agua y otras aplicaciones mecánicas. En la actualidad, existen más de un millón de molinos de viento en operación alrededor del mundo; esto se utilizan principalmente para extracción y bombeo de agua. Mientras el viento sigue siendo utilizado para el bombeo de agua, el uso de la energía eólica como fuente de energía libre de gases de efecto invernadero para la generación de electricidad es una alternativa atractiva que en los últimos años ha acrecentado el interés de muchos países para su implementación como fuente de generación eléctrica.

**La determinación precisa del recurso eólico es una tarea difícil e incierta debido a:**

- Una gran variabilidad de velocidades de viento que se encuentra en las diferentes regiones del mundo, desde un promedio anual de velocidad de 2 m/s hasta 4 a 7 m/s en lugares con mucho viento. Esta variación en el viento implica una mayor variabilidad en la potencia disponible, desde 40 a 200 W/m<sup>2</sup>.
- Inmensas diferencias en velocidad de viento (y por ende en potencia) se observan en pequeñas distancias debido a la cambiante topografía del terreno y su rugosidad. En pequeñas distancias, la potencia eólica puede variar en un orden de magnitud.
- Es difícil medir el potencial eólico con precisión. El viento, generalmente, se mide con su velocidad y dirección. La potencia eólica es proporcional al cubo de la velocidad del viento, significado esto, que un pequeño error en su medición causa un mayor error en la potencia calculada.

## **Patrones globales de circulación del viento**

El viento es aire en movimiento y es una forma indirecta de la energía solar. Este movimiento de las masas de aire se origina por diferencias de temperatura causada por la radiación solar sobre la superficie terrestre que, junto a la rotación de la tierra, crean los patrones globales de circulación.

El flujo de energía solar total absorbido por la Tierra es del orden de  $10^{17}$  vatios, lo cual es aproximadamente 10,000 veces la tasa total mundial del consumo energético. Una pequeña porción del flujo total solar (aproximadamente 1% o  $10^{15}$  vatios) se convierte en movimiento atmosférico o viento.

En una escala global, las regiones alrededor del ecuador reciben una ganancia neta de energía mientras que en las regiones polares hay una pérdida neta de energía por radiación. Esto implica un mecanismo por el cual la energía recibida en las regiones ecuatoriales sea transportada a los polos.

La distribución desigual de la energía solar entrante entonces crea oscilaciones en la temperatura ambiental, circunstancia que produce algunas de las circulaciones globales dominantes, como, la célula de Hadley, la cual transporta el calor del ecuador hacia las regiones subtropicales, acercándose a los polos; la célula de Ferrel, ocupa las latitudes medias y se encuentra cerca de la superficie, fluyendo hacia los polos y hacia el oeste; la célula polar, que se forman en las regiones del Ártico y Antártico, donde el aire fluye se eleva, diverge y viaja hacia los polos. Finalmente tenemos la circulación de Walker, que está desplaza el aire de este a oeste y en sentido vertical en los trópicos, se ubica en la cuenca del Pacífico y consiste en el movimiento de masas de aire a nivel del mar hasta converger en el centro de baja presión del Pacífico Occidental.



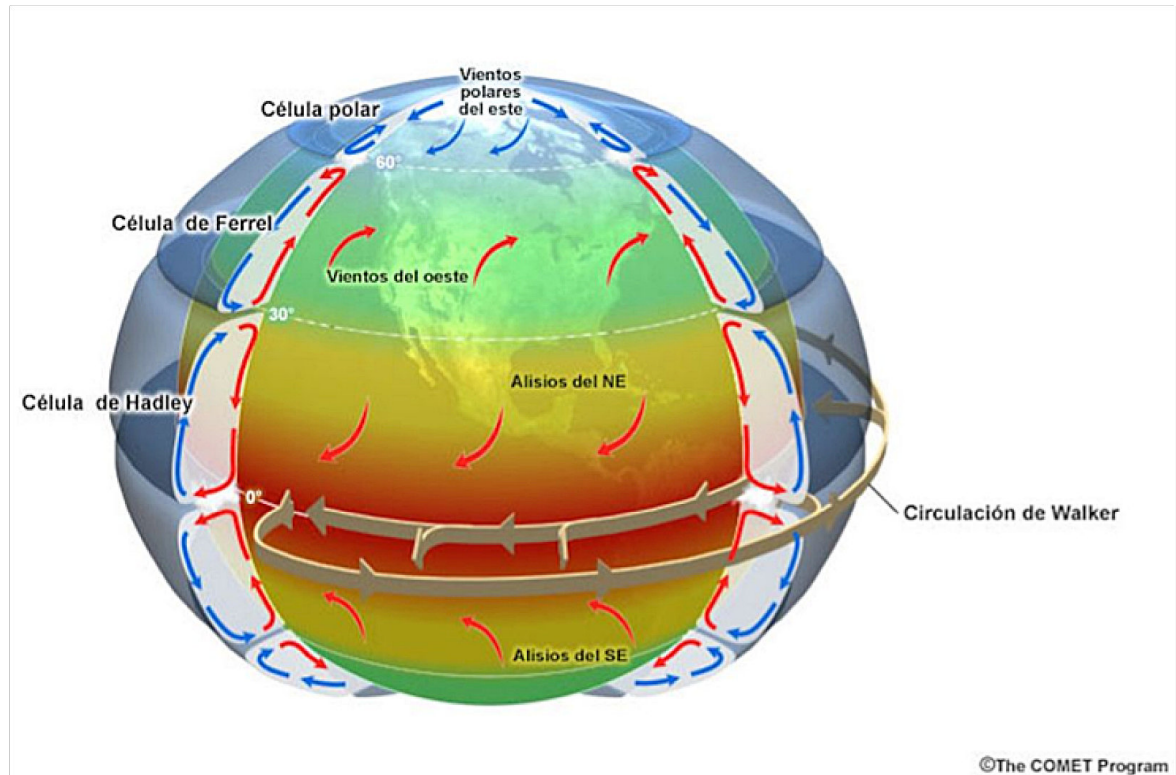


Figura 1: Representación esquemática de la configuración básica de las principales circulaciones y los vientos predominantes del mundo Tomado de: García, U. (enero 19, 2019).

Las masas de aire caliente en la región ecuatorial ascienden (causando la formación de nubes y de relámpagos) es una banda delgada de alrededor de 100 km de ancho, llamada la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Esta zona se ubica más o menos paralela al ecuador alrededor de la tierra. En la parte superior de la atmósfera estas masas de aire se dividen en dos, una alejándose del ecuador hacia el norte y otra alejándose hacia el sur. Al alejarse del ecuador, el aire se enfría y se vuelve más pesado. A aproximadamente a 30° de latitud norte y sur, este aire empieza a descender, causando un clima seco y sin nubes. En estas latitudes es donde se encuentran los grandes desiertos alrededor del mundo.

A nivel de la superficie terrestre, los vientos regresan hacia el ecuador como vientos alisios. Debido a la rotación de la Tierra su dirección se desvía hacia el oeste en los dos hemisferios norte y sur. Por esto, la dirección de los vientos alisios es NE y SE (la dirección se determina por la dirección de donde viene el viento y no hacia donde se dirige).

La zona de convergencia intertropical se desplaza hacia el norte del ecuador durante el verano del hemisferio norte y hacia el sur en el invierno. Es muy estable y por esto los vientos alisios son permanentes. Dentro de esta zona se encuentran vientos de baja intensidad, interrumpidos por un alto nivel de tormentas eléctricas. Al tiempo, se pueden experimentar largos periodos de calma de viento.

En el exterior de la circulación entre los trópicos, vientos del oeste son predominantes. Esta circulación es más bien inestable y se caracteriza por una estructura ondulada y formación de depresiones atmosféricas moviéndose del oeste hacia el este.

### De energía cinética a mecánica

Los aerogeneradores o turbinas eólicas son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica. Aunque existen dos tipos básicos de molinos, de eje horizontal y eje vertical, el principio de operación es prácticamente el mismo. La captación de la energía eólica se realiza mediante la acción del viento sobre las palas (aspas), las cuales están unidas al eje a través de un elemento denominado cubo (conjunto que recibe el nombre de rotor).

Los equipos eólicos se dividen en dos tipos:

- Los Sistemas de Conversión de energía eólica de Eje Horizontal (SCEH) con dos subdivisiones como son los de baja velocidad (muchas aspas) o los de alta velocidad (pocas aspas).
- Los Sistemas de Conversión de energía eólica de Eje Vertical (SCEV), con subdivisión similar a los de eje horizontal.

El principio aerodinámico por el cual los equipos eólicos de eje horizontal gira, es similar al que hace que los aviones vuelen. El aire es obligado a fluir por las caras superior e inferior de una placa o perfil inclinado (Figura 2) genera una diferencia de presiones entre ambas caras, dando origen a una fuerza resultante (R) que actúa sobre el perfil. Descomponiendo esta fuerza en dos direcciones se obtiene:

- La fuerza de sustentación (S), o simplemente sustentación, de dirección perpendicular al viento.
- La fuerza de arrastre (A), dirección paralela al viento.



Figura 2: Fuerzas de sustentación y arrastre Tomado de: Luque, M. (2017).

Para optimizar la circulación del aire sobre la superficie de las palas, evitar la formación de torbellinos y maximizar la diferencia de presiones, se eligen perfiles de pala con formas convenientes desde el punto de vista aerodinámico. Según como estén montadas las palas con respecto al viento y al eje de rotación, la fuerza que producirá el par motor será predominantemente la fuerza de arrastre o la de sustentación.

Por el contrario, algunos equipos eólicos de eje vertical basan su principio de operación en la fuerza de arrastre sobre superficies como es el molino de viento Savonius o el mismo principio de operación de los anemómetros de cazoletas.

La selección de utilización de equipos eólicos horizontales o verticales, independiente de la eficiencia de conversión, ya que presentan valores similares, sin embargo, es importante dejar claras las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas.

El equipo de eje vertical (Darrieus), el sistema puede captar el viento en cualquier dirección mientras que en los equipos de eje horizontal requieren de un sistema de control para enfrentar el rotor con la dirección de viento. En los de eje vertical se pueden localizar los subsistemas como caja de cambios, generador eléctrico, frenos, controles, y demás en la base de la torre facilitándose su mantenimiento. En los sistemas de eje horizontal estos subsistemas deberán estar colocados a lo alto de la torre.

Los SCEV de pocas palas (baja solidez) usualmente vienen provistos de un pequeño motor para iniciar el arranque, para facilitar la entrega de energía, mientras que los SCEH se diseñan para que arranquen sin ayuda externa a velocidades adecuadas del viento. Los SCEV más sólidos como el equipo Savonius requiere de un soporte estructural bastante sólido, dadas las fuerzas que se generan en la conversión de energía, limitándose así a la altura a la cual se puede instalar este equipo a unos cuantos metros desde el nivel del piso. Mientras que los SCEH pueden tener torres más altas para emplazar el rotor a alturas mayores sobre la superficie donde la intensidad del viento es mayor.

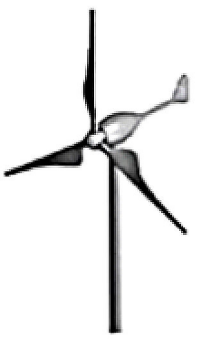
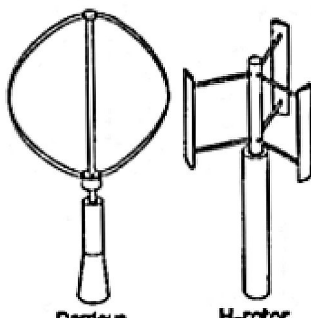
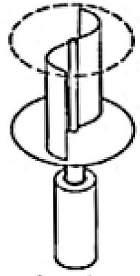
	<b>Eje Horizontal</b>	<b>Eje Vertical Sustentación</b>	<b>Eje Vertical Arrastre</b>
			
<b>Ventajas</b>	<p>Eficiente Ampliamente probado Muy utilizado Más económico Muchos modelos</p>	<p>Eficiencia aceptable Indiferente a la dirección del viento Menos sensibilidad a turbulencia Crea pocas vibraciones</p>	<p>Producto probado Silencioso Robusto y fiable Indiferente a la dirección del viento Puede aprovechar flujos turbulentos Crea pocas vibraciones</p>
<b>Desventajas</b>	<p>No soporta adecuadamente cambios frecuentes en la dirección del viento No tolera bien vientos racheados</p>	<p>No muy probado Más sensible a la turbulencia que el Savonius</p>	<p>Baja eficiencia Económicamente costoso</p>

Figura 3: Resumen de las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de conversión de energía eólica Tomado de: Luque, M. (2017).

México se posiciona a nivel mundial como uno de los países mejor situados para aprovechar la fuerza del viento en la generación de electricidad. Hasta el año 2017 México tuvo un fuerte impulso al desarrollo de las energías renovables, con la finalidad de diversificar la matriz energética y reducir, de esta manera, la fuerte dependencia que existe de los combustibles fósiles. Los estados de Oaxaca, Yucatán y Tamaulipas han registrado velocidades de vientos mayores a 8 m/s y factores de planta cercanos al 45% lo cual las convierte en las zonas con mayor potencial eólico de México.

El estado de Oaxaca se caracteriza por ser uno de los mejores sitios, no solo en el país sino del continente americano para, generación de electricidad mediante el viento, particularmente en la zona del Istmo de Tehuantepec. En esta región el viento tiene velocidad promedio de 8.5 m/s a una altura de 50 m, por lo que esta considerada como una de las mejores regiones para aprovechar la energía eólica. Derivado del gran potencial eólico que posee nuestro país, en los últimos años se han desarrollado estrategias para incorporar la generación eólica en la matriz energética. Actualmente, se realizan estudios para determinar sitios factibles para el desarrollo de la energía eólica en México.



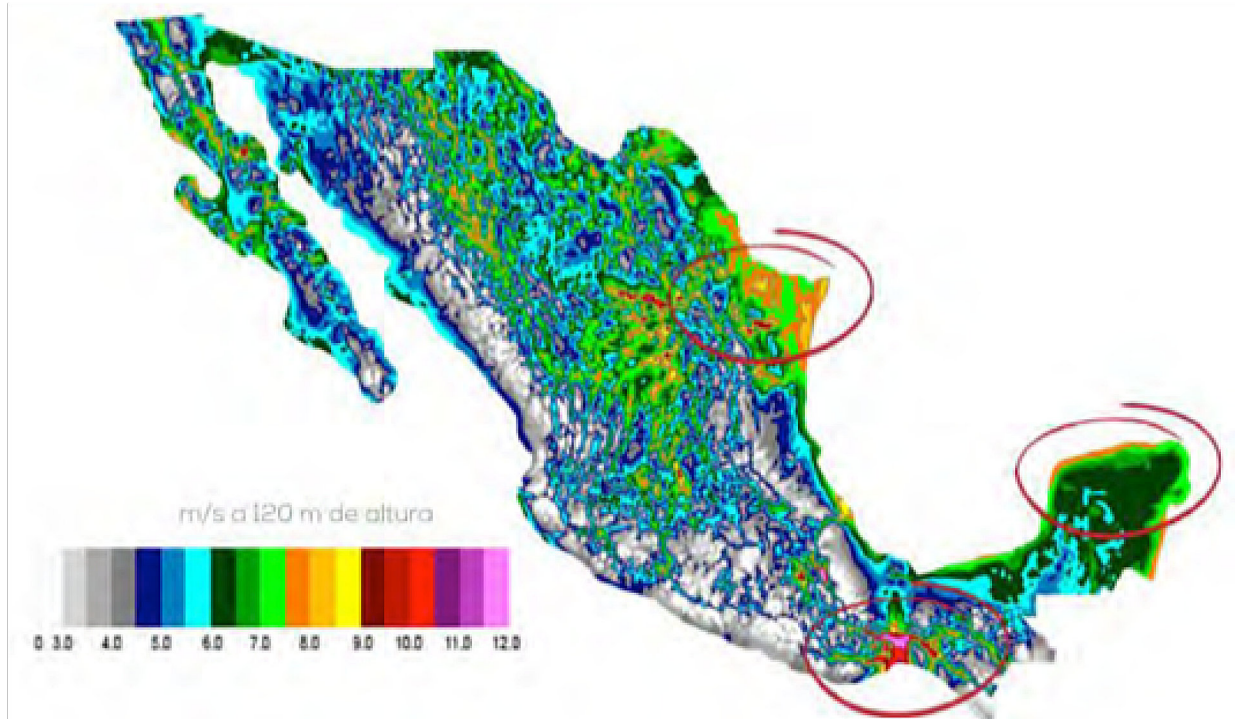


Figura 4: mapa de velocidad del viento en México Tomado de: (Secretaría de Energía (SENER, 2017).

El recurso eólico en México es competitivo, como lo demuestran los numerosos proyectos llevados a cabo por el sector privado en la modalidad de autoabastecimiento, así como por la CFE bajo la modalidad de productor independiente de energía. Se cuantificó el potencial eólico técnico y económicamente competitivo, definiendo un objetivo de instalación de 12,000 megawatts para el año 2020 (si bien el potencial puede ser mayor). El alto volumen de recurso aprovechable indica que México es un país dotado con un gran potencial para el uso de energía eólica. Cerca de 7,000 MW de este potencial se encuentran ya en operación o en fase de desarrollo, principalmente a través de las dos modalidades de generación: la producción independiente de energía y el autoabastecimiento.

Sin embargo, a través de la modalidad de autoabastecimiento existe más de 200 empresas en todo México que consumen parte o la totalidad de su energía a través de parques eólicos. Dentro de este universo de empresas, existen compañías del sector minero, acerero, cementero, automotriz, alimenticio, de bebidas y tiendas de autoservicio entre otras.

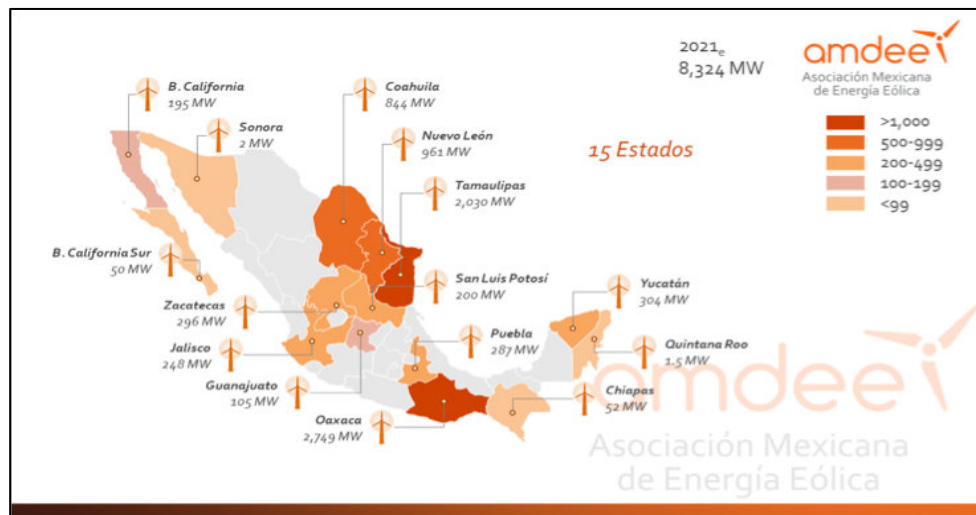


Figura 5: mapa eólico de México Tomado de: (Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE, 2021).

### Energía eólica costa afuera

La energía eólica marina es aquella cuya fuente de energía es la obtenida al aprovechar la fuerza del viento que se produce en alta mar, donde este alcanza una velocidad mayor y es más constante pues no existen barreras. Para explotar al máximo este recurso, se desarrollan mega estructuras asentadas sobre el lecho marino y dotadas con las últimas innovaciones técnicas.

En la actualidad, los parques eólicos marinos se ubican en aguas no muy profundas (hasta 60 metros de calado) y alejados de la costa, las rutas de tráfico marino, las instalaciones estratégicas navales y los espacios de interés ecológico. Los parques europeos tienen una profundidad media de 27,1 metros y se encuentran a una distancia media de 33 kilómetros de la costa, frente a los 41 km de media registrados en el informe de 2017. Reino Unido es el país con mayor capacidad instalada en Europa, con un total de 44% de todas las instalaciones de energía eólica marina (en MW). Le siguen Alemania (34%), Dinamarca (7%), Bélgica (6.4%) y Holanda (6%).



*Figura 6: Campos eólicos costa afuera Tomada de: (Wind Europe. 2018).*

Existen diferentes tipos de parques eólicos y estos se pueden diferenciar por el tipo de anclaje del aerogenerador, distinguimos dos tipos:

#### **Aerogeneradores marinos con cimentación fija:**

Se caracterizan por tener una estructura de apoyo con cimentación fija sobre el suelo marino. Este tipo de cimentación, a su vez, puede ser distinta: con monopilote (la torre se cimenta sobre un gran cilindro de acero empotrado en el fondo marino); de apoyo por gravedad (requiere una plataforma de hormigón o acero de gran masa y superficie que se apoya directamente sobre el lecho marino que se prepara previamente); y usando jackets (estructuras de acero reticulares con

tres o cuatro puntos de anclaje en el fondo marino). La tecnología actual de cimentaciones fijas se utiliza actualmente en emplazamientos de hasta 60 m de profundidad.

#### **Aerogeneradores marinos sobre plataforma flotante:**

Este tipo de emplazamientos abren la puerta a parques más alejados de la costa en zonas de gran profundidad. Las bases flotantes permiten desplegar aerogeneradores en extensas áreas marinas con gran potencial de viento. Con este tipo de técnica, la restricción de profundidad viene marcada por el tendido de las infraestructuras eléctricas submarinas de evacuación, capaces de llegar a cientos de metros de profundidad. Según el sistema de anclaje al fondo marino se clasifican como: monopilar flotante o spar, plataforma semisumergible y plataforma de apoyo en tensión.

#### **Bibliografía**

Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (2021). Mapas eólicos. Julio 9, 2021, de Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) Sitio web: <https://amdee.org/mapas-eolicos.html>

Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (s/n). El potencial eólico mexicano Oportunidades y retos en el nuevo sector eléctrico. Julio 9, 2021, de Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) Sitio web: <https://amdee.org/Publicaciones/AMDEE-PwC-El-potencial-eolico-mexicano.pdf>

Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (S/N). Estudio de Capacidades de la Industria Eólica en México. Julio 9, 2021, de Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) Sitio web: <https://amdee.org/estudios.html>

García, U. (enero 19, 2019). Comportamiento de los vientos en la atmósfera. Julio 9, 2021, de METEORED Sitio web: <https://www.meteored.mx/noticias/divulgacion/comportamiento-de-los-vientos-en-la-atmosfera-circulacion-atmosferica-1ra-parte.html>

IBERDROLA. (s/n). QUÉ ES LA ENERGÍA EÓLICA MARINA. Julio 10, 2021, de IBERDROLA Sitio web: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/como-funciona-la-energia-eolica-marina>

Luque, M. (2017). Diseño, construcción y control de un aerogenerador de equipo de practicas de bajo coste. Julio 9, 2021, de Dept. de Ingeniería de sistemas y automática Escuela Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla Sitio web: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91288/fichero/tfg+maria+paz+luque.pdf>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGIAS ALTERNATIVAS (INEA). (Julio, 1997). MANUAL DE APLICACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA. Julio 9, 2021, de MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGIAS ALTERNATIVAS (INEA) Sitio web: [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/material\\_difusion/manualE%F3licaweb.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/material_difusion/manualE%F3licaweb.pdf)

Moragues, J & Rapallini, A. (2003). ENERGIA EOLICA. Julio 9, 2021, de INSTITUTO ARGENTINO DE LA ENERGIA "GENERAL MOSCONI" Sitio web: <https://docplayer.es/10404081-Energia-eolica-jaime-moragues-y-alfredo-rapallini.html>

Secretaría de Energía (SENER). (2017). MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA DE ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA. Julio 9, 2021, de Secretaría de Energía (SENER) Sitio web: <https://amdee.org/mapa-ruta.pdf>

Wind Europe. (2018). Offshore Wind in Europe 2018. Julio 11, 2021, de Wind Europe Sitio web: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Offshore-Statistics-2018.pdf>



# ¿Qué es la energía solar?

El término energía solar se refiere al aprovechamiento de la energía que proviene del sol, se trata de una fuente de energía renovable la cual se considera inagotable a escala humana, este tipo de energía renovable se genera mediante reacciones de fusión nuclear en el Sol. La radiación viaja hacia la Tierra mediante la radiación electromagnética, aunque no toda la energía solar llega a la tierra. Una vez que atraviesa la atmósfera, la radiación pierde intensidad debido a la absorción, la difusión y la reflexión de los gases y las partículas suspendidas en la atmósfera y, posteriormente, puede ser aprovechada. La energía solar se puede aprovechar en forma de energía térmica o energía eléctrica, para su consumo posterior allá donde se necesite. Cuando se trata de energía térmica obtenemos calor para calentar un fluido.

El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar. Los paneles solares pueden ser de distintos tipos dependiendo del mecanismo elegido para el aprovechamiento de la energía solar:

- Mediante paneles solares fotovoltaicos (energía solar fotovoltaica)
- Mediante captadores solares térmicos (energía solar térmica)
- Sin ningún elemento externo (energía solar pasiva)

## ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?

Se basa en el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica que luego se transporta hasta la red de distribución para llegar hasta los puntos de consumo. Para ello, se emplea un dispositivo semiconductor denominado celda o célula fotovoltaica, que puede ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo, o bien otros materiales semiconductores de capa fina. Las de silicio monocristalino se obtienen a partir de un único cristal de silicio puro y alcanzan la máxima eficiencia, entre un 18 % y un 20 % de la media. Las de silicio policristalino se elaboran en bloque a partir de varios cristales, por lo que resultan más baratas y poseen una eficiencia media de entre el 16 % y el 17,5 %. Por último, las de silicio amorfo presentan una red cristalina desordenada, lo que conlleva peores prestaciones (eficiencia media de entre un 8 % y un 9 %), pero también un precio menor.

## Tipos de plantas fotovoltaicas

Hay dos tipos de plantas fotovoltaicas: las que están conectadas a la red y las que no. Dentro de las primeras existen, a su vez, otras dos clases:

- Central fotovoltaica: toda la energía producida por los paneles se vierte a la red eléctrica.
- Generador con autoconsumo: parte de la electricidad generada es consumida por el propio productor (en una vivienda, por ejemplo) y el resto se vierte a la red. Al mismo tiempo, el productor toma de la red la energía necesaria para cubrir su demanda cuando la unidad no le suministra la suficiente.

Estas instalaciones con conexión a la red cuentan con tres elementos básicos:

- Paneles fotovoltaicos: se trata de grupos de celdas fotovoltaicas montadas entre capas de silicio que captan la radiación solar y transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones).
- Inversores: convierten la corriente eléctrica continua que producen los paneles en corriente alterna, apta para el consumo.
- Transformadores: la corriente alterna generada por los inversores es de baja tensión (380-800 V), por lo que se utiliza un transformador para elevarla a media tensión (hasta 36 kV).

Por su parte, las instalaciones no conectadas a la red operan de forma aislada y suelen encontrarse en lugares remotos y explotaciones agrícolas para satisfacer demandas de iluminación, servir de apoyo a las telecomunicaciones y bombear los sistemas de riego. Estas plantas aisladas requieren dos elementos adicionales para funcionar:

- Baterías: encargadas de almacenar la energía producida por los paneles y no demandada en ese instante para cuando sea necesario.
- Reguladores: protegen la batería contra sobrecargas y previenen un uso ineficiente de la misma.



Figura 1: Funcionamiento de las plantas fotovoltaicas Tomado de: IBERDROLA (S/n).

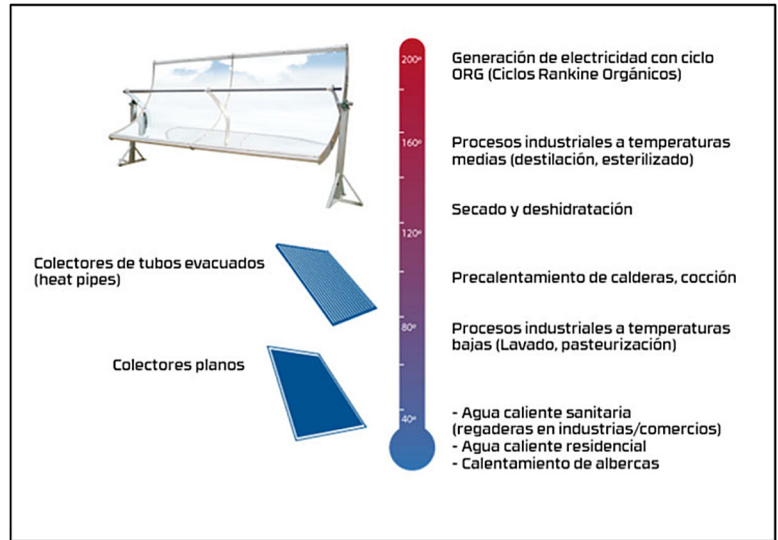


Figura 2: Tipos de energía solar térmica Tomado de: Instituto Mexicano del Petróleo. (2018).

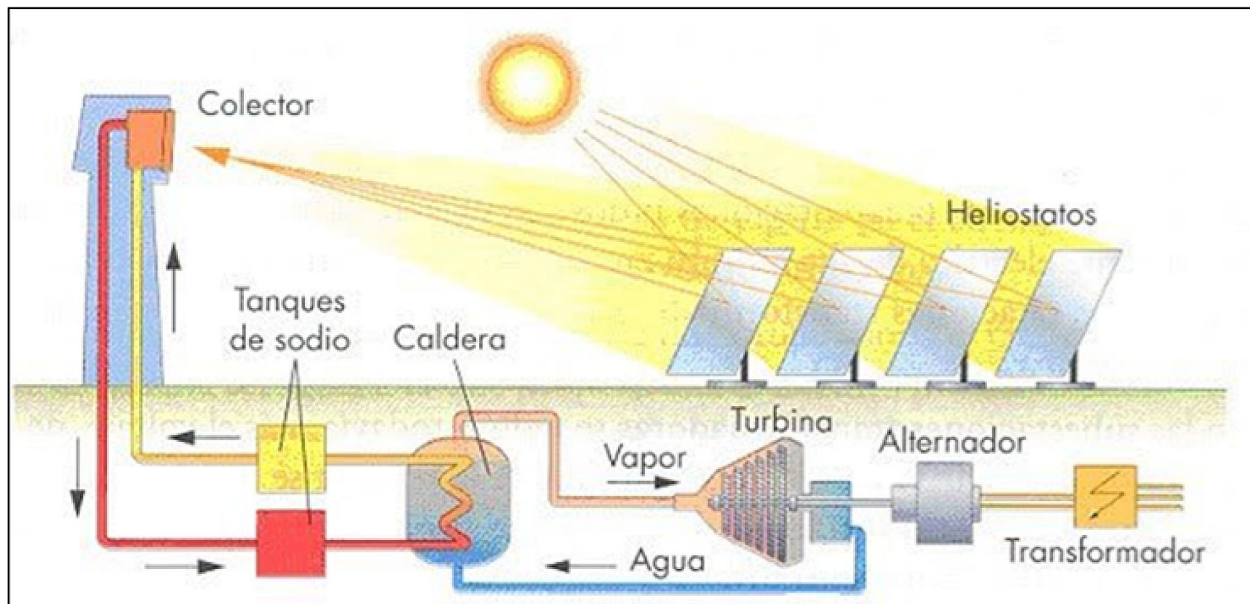


Figura 3: Central solar de alta temperatura, central de torre central Tomada de: Neoteo. (2011).

### ¿Qué es la energía solar térmica?

La energía solar térmica consiste en la transformación de la energía solar en energía térmica a través de unos captadores solares, también denominados paneles solares térmicos cuya función es recibir y concentrar la radiación solar con la finalidad de calentar un fluido y que éste sea utilizado para calefacción, agua sanitaria o electricidad a través de una central termo solar. Actualmente, se considera que el calor solar puede contribuir de forma significativa a la energía global requerida para generar calor. En el 2010 la IEA reportó que el 47% de la demanda de energía a nivel mundial está relacionada con aplicaciones térmicas (uso del calor); resaltando la importancia del aprovechamiento de este recurso, sobre todo a nivel industrial.

### Tipos de energía solar térmica

Se distinguen tres tipos de energía solar térmica en función de su temperatura:

- Las instalaciones de baja temperatura se utilizan habitualmente en viviendas. Trabajan con temperaturas menores a 65°C. Están relacionadas con tecnología de colectores planos, no cubiertos y tubos evacuados empleados principalmente para el calentamiento de agua sanitaria y de agua de albercas (Fig. 2).
- Las plantas de media temperatura trabajan con temperaturas entre los 100 y 300°C utilizan tecnologías de tubos evacuados, que alcanzan hasta 120°C de temperatura y de concentradores solares para uso principalmente industrial, enfriamiento y calefacción de espacios (Fig. 2).
- Las plantas de alta temperatura se utilizan para generar electricidad. Trabajan con temperaturas por encima de los 500°C (773 kelvin). Utilizan espejos para concentrar la energía y lograr temperaturas suficientes altas para la generación de electricidad y algunos procesos industriales (Fig. 2).

### ¿Qué son las centrales termo solares?

Las centrales termo solares son instalaciones que aprovechan la energía solar para generar electricidad (una vez que la radiación solar ha sido transformada en energía calorífica). Distinguimos dos tipos:

- Centrales de torre central: cuentan con un conjunto de espejos de gran volumen que concentran la radiación solar en un punto.
- Centrales de colectores distribuidos: utilizan colectores de concentración para amplificar la radiación solar sobre una superficie. Estos colectores obtienen temperaturas de hasta 300°C para producir vapor.

### ¿Qué es la energía solar pasiva?

Es aquella que aprovecha el calor y la luz solar sin utilizar dispositivos mecánicos. Esta energía consiste en aplicar un diseño arquitectónico que mejore la iluminación natural a través de fachadas, superficies de vidrio y una orientación sur. Por tanto, no utiliza componentes extra para producir energía (como es el caso de los paneles solares), está fundamentada en el diseño de construcciones que cuenten con gran aislamiento térmico, un riguroso control de infiltraciones, y una máxima calidad del aire interior, además de aprovechar la energía del Sol para una mejor climatización, reduciendo el consumo energético del orden del 70% (sobre las construcciones convencionales) y el aprovechamiento de los recursos naturales.

El estándar se basa en 5 principios que hacen que el edificio necesite muy poca energía y que ésta, a su vez, pueda basarse en energías renovables, suponiendo un coste energético de calefacción cero.

1. **Aislamiento térmico:** Se utilizan mayormente paneles sándwich de poliuretano logrando un buen rendimiento en grandes espacios como fachadas o techos. Las características de estos paneles consiguen un aislamiento térmico muy alto gracias a su baja conductividad térmica. Esta durabilidad de los paneles sándwich de poliuretano.
2. **Ausencia de puentes térmicos:** Son una zona puntual o lineal, de la envolvente de un edificio, en la que se transmite más fácilmente el calor que en las zonas alledañas, debido a una variación de la resistencia térmica. Se trata de un lugar en el que se rompe la superficie aislante. Estos puentes térmicos perjudican la eficiencia energética del elemento constructivo, por lo que hay que evitarlos para conseguir una buena casa pasiva.
3. **Estanqueidad,** es decir, la posibilidad de crear una superficie por donde no acceda el agua ni las corrientes de aire al interior del material, evitando que las grietas o huecos intervengan en la eficiencia energética de nuestro edificio. Si la estanqueidad no es suficientemente impermeable, el flujo de aire no seguirá los recorridos planteados y la recuperación del calor no trabajará correctamente, resultando un consumo energético mayor: es importante que una sola capa hermética al aire cubra todo el edificio.
4. **Ventilación con recuperación del calor:** que son equipos cuya función es aprovechar las propiedades psicométricas (temperatura y humedad) del aire que extraemos del edificio o local, e intercambiarlas con el aire de ventilación que impulsamos del exterior. En este proceso de intercambio, no se mezclan el aire del exterior y el aire del interior consiguiendo así los mejores índices de calidad del aire sin perjuicio del confort o del ahorro.
5. **Ventanas y puertas de altas prestaciones,** es decir, al ser los elementos más “débiles” de la envolvente, se ha de poner mucha atención en su correcta ubicación y ejecución para conseguir una buena eficiencia energética.

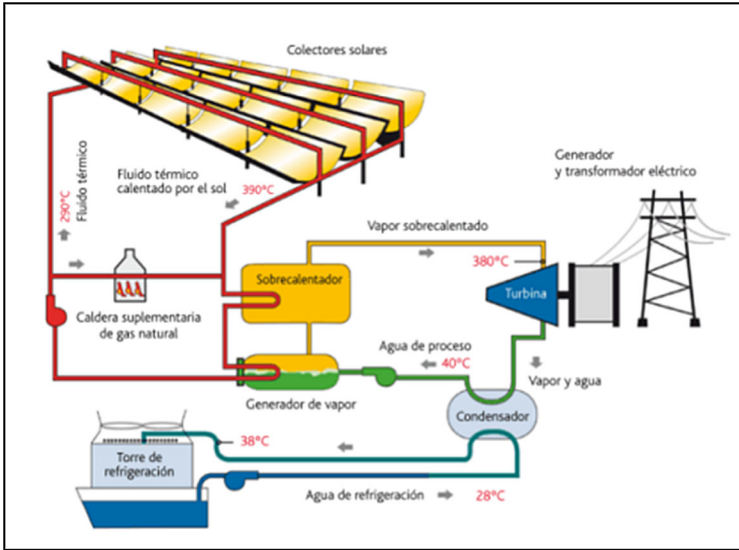


Figura 4: Central solar de alta temperatura, Centrales de colectores distribuidos y/o canales parabólicos Tomado de: Pirobloc (S/n).

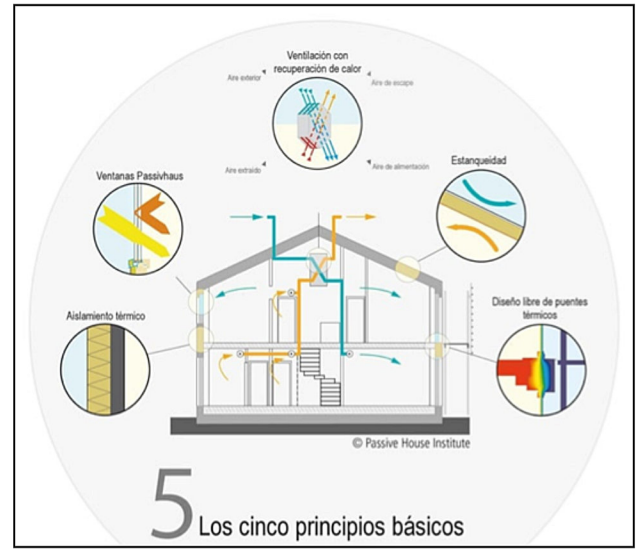


Figura 5: Los 5 principios de la passivhaus Tomado de: Grupo diansa. (diciembre 18, 2017).

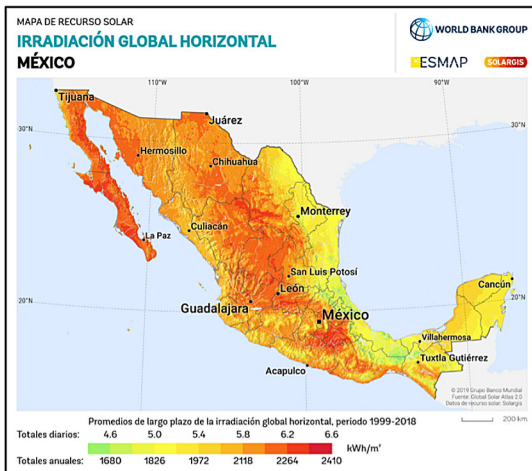


Figura 6: Mapa de la Irradiación Global Horizontal de México Tomada de: SOLARGIS (2019a).

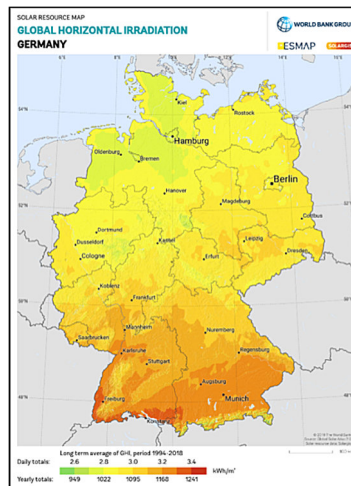


Figura 7: Mapa de la Irradiación Global Horizontal de Alemania Tomada de: SOLARGIS. (2019b).

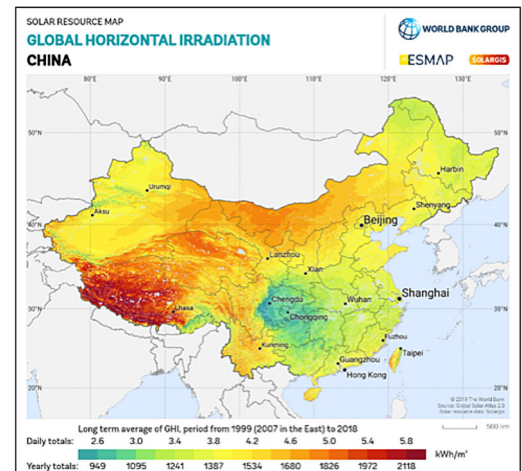


Figura 8: Mapa de la Irradiación Global Horizontal de China Tomada de: SOLARGIS. (2019c).

### Energía solar en México

México no cuenta con un plan de objetivos específicos de energía solar en el Programa de Desarrollo Eléctrico Nacional (PRODESEN), a pesar de tener compromisos de generación de electricidad limpia en la Ley de Transición Energética (2016). De hecho, contrario a la política energética/ambiental adscrita, México continúa, desde 2013, aumentando la proporción de combustibles fósiles en su matriz eléctrica, a pesar de tener una de las mejores radiaciones solares del mundo.

La manera de medir el potencial de energía solar que un territorio tiene es a través de la radiación solar. De acuerdo con la International Renewable Energy Agency (IRENA) (2015), México se encuentra entre 15° y 35° de latitud, región considerada la más favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente, en promedio, 5.5 kWh/m<sup>2</sup> (la unidad de medición de radiación solar). En la figura 6 se observa que el noroeste del país es la zona con mayor potencial, donde la radiación excede los 8 kWh/m<sup>2</sup> en primavera y verano. Sin embargo, los puntos de demanda más altos son en el centro del país, lo que implica un reto/oportunidad para la infraestructura de transmisión de la CFE.

De igual forma, las figuras 7 y 8, muestran la radiación solar para el caso alemán y chino, que según la IRENA Agency (2015) son los dos mercados más grandes de paneles solares en el mundo.



**Cuadro 1: Comparativo de aprovechamiento solar**

Pais	Tamaño del territorio (Km2)	Radiación solar (Kwh/m2)	Generación de energía solar (Gwh)
Alemania	357,376.0	1.1	5,047.0
China	9,597,000.0	4.5	116,500.0
México	1,964,000.0	5.5	114.2

**Notas:** Por disponibilidad de información, los datos de energía solar son del 2014.

**Fuentes:** Elaboración por el CIEP, con datos del Bank (2017) y de SOLARGIS (2017)

Tabla 1: Comparativo de aprovechamiento solar Tomado de: Instituto Mexicano del Petróleo. (2018).

**Cuadro 2: Porcentaje de generación distribuida sobre el total de capacidad instalada**

País	Penetración de GD (%)
Alemania	48
California (EUA)	5
Chile	10
Dinamarca	55
España	31
México	0.23

**Fuentes:** Elaboración por el CIEP, con datos de la SENER (2017).

Tabla 2: Porcentaje de generación distribuida sobre el total de la capacidad instalada Tomado de: Instituto Mexicano del Petróleo. (2018).

Para hacer una comparación objetiva del aprovechamiento solar de estos países, hay que considerar no sólo la radiación solar, sino el tamaño del territorio y la generación de electricidad provista por el Sol, como se agrupa en la Tabla 1.

En la Tabla 1 se observa que, a pesar de que México tiene un territorio 5.5 veces mayor que Alemania y una radiación 5.0 veces superior, la energía solar generada en el país europeo es 44.2 veces superior.

Con respecto a China, a pesar de que México tiene un territorio 4.9 veces menor, tiene una radiación solar promedio 1.2 veces mayor. Sin embargo, la energía solar generada es equivalente al 0.1% de la China.

Los datos del cuadro 1 consideran energía solar utility-scale y GD (generación distribuida). Sin embargo, el cuadro 2 muestra información exclusiva sobre el retraso en GD que tiene México con respecto a otros países. Si se desea aprovechar los beneficios potenciales de la energía solar, México debe alinear sus políticas. Por un lado, los compromisos nacionales (Ley de Transición Energética) e internacionales (COP 21 de París) a los que México se adhirió, buscan una generación eléctrica menos dependiente del carbono. Por otro, se tiene una política comercial/tributaria que grava con 15% la importación de tecnología FV.

A pesar de tener condiciones geográficas y climatológicas ideales para el desarrollo de la energía solar, y de tener algunos esfuerzos logrados, México continúa rezagado a nivel mundial.

### Bibliografía

García, F. (2016). El empleo de la energía solar térmica en México. Agosto 10, 2021, de Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA) Sitio web: <https://cceeax.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/el-empleo-de-la-energia-solar-termica-en-mexico>

Grupo diansa. (diciembre 18, 2017). 5 principios de la passivhaus. Agosto 10, 2021, de Grupo diansa Sitio web: <https://www.cubiertasdiansa.com/cubiertas-inclinadas-mas-impresionantes/>

IBERDROLA. (S/n). ¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?. Agosto 10, 2021, de IBERDROLA Sitio web: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica>

Instituto Mexicano del Petróleo. (2018). REPORTE DE INTELIGENCIA TECNOLÓGICA ENERGÍA TERMOSOLAR. Agosto 10, 2021, de instituto Mexicano del Petróleo Sitio web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341706/IT\\_TERMOSOLAR\\_Final\\_Rev\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341706/IT_TERMOSOLAR_Final_Rev_1.pdf)

Limón, A. (S/n). Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento. Agosto 10, 2021, de Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, A. C. (CIEP) Sitio web: <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>

Neoteo. (2011). ¿Son eficientes las grandes centrales solares? Agosto 10, 2021, de Neoteo Sitio web: <https://www.neoteo.com/eficientes-centrales-solares/>

Pirobloc. (s/n). PRODUCCIÓN DE ENERGÍA SOLAR. Agosto 10, 2021, de Pirobloc Sitio web: <https://www.pirobloc.com/aplicaciones-y-sectores/produccion-de-energia-solar/>

Planas, O. (octubre 3, 2019). ¿Qué es la energía solar? Agosto 10, 2021, de solar-energia.net Sitio web: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar>

Renewable Energy Prospects (IRENA). (mayo, 2015). Mexico, REmap 2030 Analysis.. Agosto 10, 2021, de Renewable Energy Prospects (IRENA) Sitio web: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA\\_REmap\\_Mexico\\_report\\_2015.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_REmap_Mexico_report_2015.pdf)

SOLARGIS. (2019a). Mapas de recursos solares de Mexico. Agosto 10, 2021, de SOLARGIS Sitio web: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/mexico>

SOLARGIS. (2019b). Mapas de recursos solares de Alemania. Agosto 10, 2021, de SOLARGIS Sitio web: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/germany>

SOLARGIS. (2019c). Mapas de recursos solares de China. Agosto 10, 2021, de SOLARGIS Sitio web: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/china>

Tarifasgasluz. (junio 30, 2021). Energía solar en España: ¿Cuáles son sus beneficios y cómo funciona? Agosto 10, 2021, de Tarifasgasluz Sitio web: <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/energia-solar#que-es-energia-solar-termica>

# ¿Qué es la energía nuclear?

Para comenzar a hablar de la energía nuclear debemos de comenzar desde la parte más elemental de la materia, el átomo. El átomo es una estructura en la cual se organiza la materia en el mundo físico o en la naturaleza, su estructura está compuesta por diferentes combinaciones de tres sub-partículas: los neutrones (con carga eléctrica neutra), los protones (con carga eléctrica positiva), y los electrones (con carga eléctrica negativa). Las moléculas están formadas por átomos.

La energía nuclear es la energía contenida en el núcleo de un átomo. Los átomos son las partículas más pequeñas en que se puede dividir un elemento químico manteniendo sus propiedades.

En el núcleo de cada átomo hay dos tipos de partículas, neutrones y protones. Las fuerzas que mantienen unidas las partículas del núcleo entre sí venciendo incluso las de repulsión electrostática entre los protones son de naturaleza desconocida y de corto alcance, solo aparecen en el interior de los núcleos y se denominan fuerzas nucleares. La energía acumulada por estas se llama energía de enlace. Por tanto, una parte de la masa del núcleo se transforma en energía de enlace para mantener unidas las partículas del núcleo. Esta energía es la que se libera en forma de una gran cantidad de energía calorífica y radiación cuando tiene lugar una reacción nuclear, y a la que se denomina energía nuclear.

## Tipos de energía nuclear

Para poder aprovechar la energía nuclear presente en el núcleo de los átomos se puede hacer de dos formas: partiendo el núcleo de un átomo o fusionando el núcleo de dos átomos. En el primer caso lo llamamos fisión nuclear y en el segundo fusión nuclear.

### Fisión Nuclear

La fisión nuclear es la reacción en la que el núcleo de un átomo pesado, al capturar un neutrón incidente, se divide en dos o más núcleos de átomos más ligeros, llamados productos de fisión, emitiendo en el proceso neutrones, rayos gamma y grandes cantidades de energía. El núcleo que captura el neutrón incidente se vuelve inestable y, como consecuencia, se rompe en fragmentos más ligeros dando lugar a una situación de mayor estabilidad. Una de las características importantes de la fisión nuclear es que se genera bombardeando un átomo inestable con un neutrón. Una vez que el núcleo se ha fisionado, además de partículas uno o dos neutrones más quedan libres que pueden chocar contra otro átomo y generar más fisiones en cadena. Para que se produzca una reacción de fisión en cadena es necesario que se cumplan ciertas condiciones de geometría del material fisionable y se supere un umbral determinado de cantidad del mismo, conocido como masa crítica. La fisión puede llegar a producirse de forma espontánea, pero es necesaria la existencia de un neutrón que incida con la energía adecuada. Actualmente la fisión nuclear es el tipo de reacción nuclear que se utiliza en todos los tipos de reactores nucleares de potencia.

### Fusión nuclear

La fusión nuclear es una reacción nuclear en la que dos núcleos de átomos ligeros, en general el hidrógeno y sus isótopos (deuterio y tritio), se unen para formar otro núcleo más pesado, generalmente liberando partículas en el proceso. Estas reacciones pueden absorber o liberar energía, según si la masa de los núcleos es mayor o menor que la del hierro, respectivamente. Un ejemplo de reacciones de fusión son las que tienen lugar en el sol, en las que se produce la fusión de núcleos de hidrógeno para formar helio, liberando en el proceso una gran cantidad de energía en forma de radiación electromagnética, que alcanza la superficie terrestre y que percibimos como luz y calor. Este proceso genera energía porque el peso del núcleo resultante es menor que la suma de los pesos de los núcleos más ligeros. Esta diferencia en las masas, llamado defecto de masa o energía de amarre, se transforma en energía mediante la fórmula de Einstein ( $E=MC^2$ ), donde "M" es la diferencia de masa observada en el sistema antes y después de la fusión y "C" es la velocidad de la luz (300.000 km/s).

### Centrales nucleares

Una central nuclear es una instalación industrial en la que se genera electricidad a partir de la energía térmica producida mediante reacciones de fisión en la vasija de un reactor nuclear. El componente central de una central es el reactor, que es la instalación donde se aloja el combustible nuclear (habitualmente uranio) y que cuenta con sistemas

que permiten iniciar, mantener y detener, de modo controlado, reacciones nucleares de fisión que liberan grandes cantidades de energía térmica. La energía térmica liberada se utiliza para calentar agua hasta convertirla en vapor a alta presión y temperatura. Este vapor hace girar una turbina que está conectada a un generador que transforma la energía mecánica del giro de la turbina en energía eléctrica, lista para su utilización industrial.

El reactor es la instalación de la central nuclear en la que se inician, mantienen y controlan las reacciones de fisión nuclear en cadena que producen la energía térmica necesaria para la generación de energía eléctrica. El reactor consta de una vasija de acero en cuyo interior se dispone un conjunto de elementos de combustible nuclear siguiendo un cierto patrón geométrico. En la mayoría de reactores, para facilitar el proceso de reacción en cadena es necesaria, asimismo, la presencia dentro del reactor de un elemento moderador de los neutrones que se producen en las reacciones de fisión. Esto se debe a que estos neutrones tienen una elevada energía cinética y es conveniente reducir su velocidad para facilitar nuevas reacciones en cadena, lo que se consigue mediante choques elásticos de los neutrones con los átomos del elemento que hace de moderador. El moderador utilizado en la única central nuclear de México (Laguna Verde) es el agua ligera.

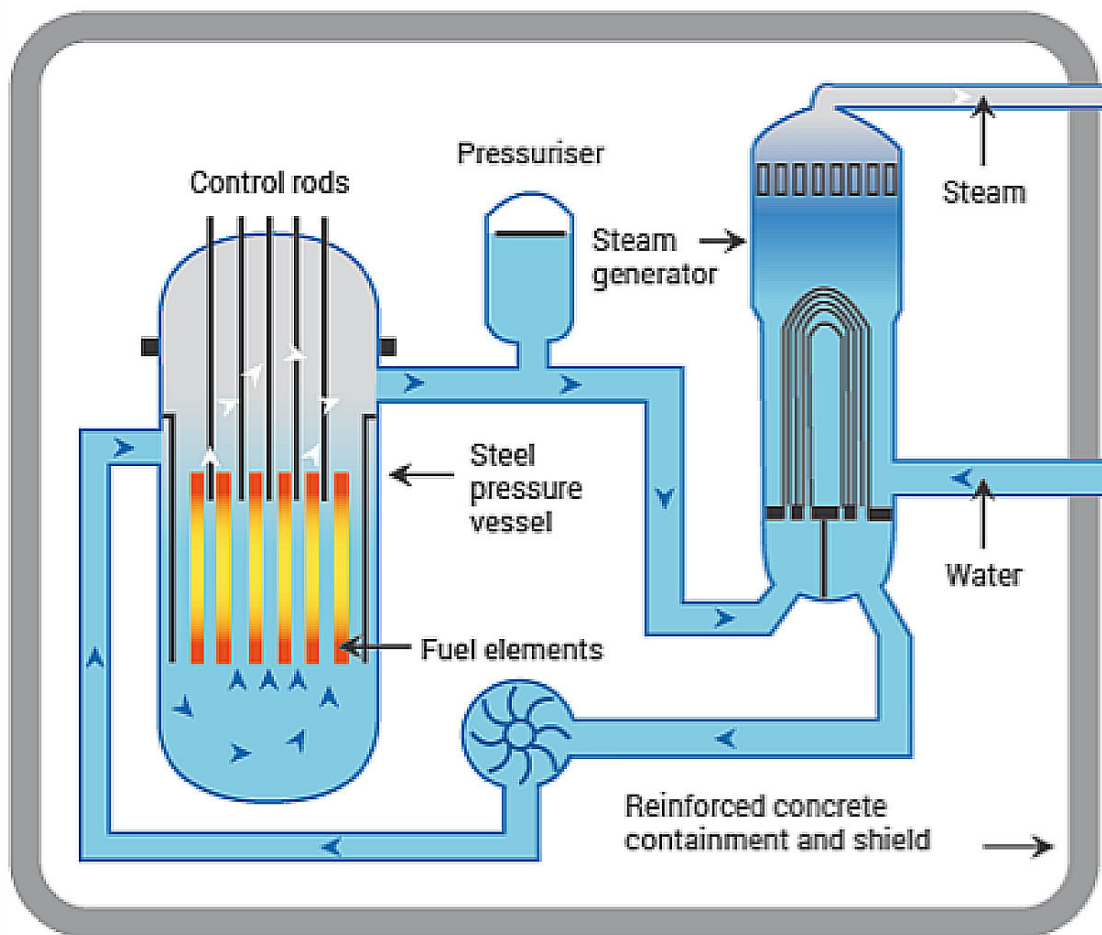


Figura 1: Esquema de Reactor de Agua Presurizada Tomada de: WNA (julio, 2021).

El reactor de agua a presión (Pressurized Water Reactor, PWR, por sus siglas en inglés) el agua circula en estado líquido a través del reactor a muy alta presión y su transformación en vapor se produce fuera del mismo, en un intercambiador de calor exterior que se denomina generador de vapor.

Los PWR utilizan agua corriente como refrigerante y moderador. El diseño se distingue por tener un circuito de enfriamiento primario que atraviesa el núcleo del reactor a muy alta presión, y un circuito secundario en el que se genera vapor para impulsar la turbina. Un PWR tiene conjuntos combustibles de 200-300 barras cada uno, dispuestos verticalmente en el núcleo, y un reactor grande tendría alrededor de 150-250 conjuntos combustibles con 80-100 toneladas de uranio.



Existen distintos tipos de reactores nucleares, pero se pueden destacar dos diseños que suponen más del 80% de las casi 450 unidades en funcionamiento en el mundo:

El agua en el núcleo del reactor alcanza aproximadamente 325 ° C, por lo que debe mantenerse a aproximadamente 150 veces la presión atmosférica para evitar que hierva. La presión se mantiene mediante vapor en un presurizador (Fig. 1). En el circuito de enfriamiento primario, el agua también es el moderador, y si algo se convierte en vapor, la reacción de fisión se ralentizaría. Este efecto de retroalimentación negativa es una de las características de seguridad de este tipo. El sistema de apagado secundario implica agregar boro al circuito primario. El circuito secundario está a menos presión y aquí el agua

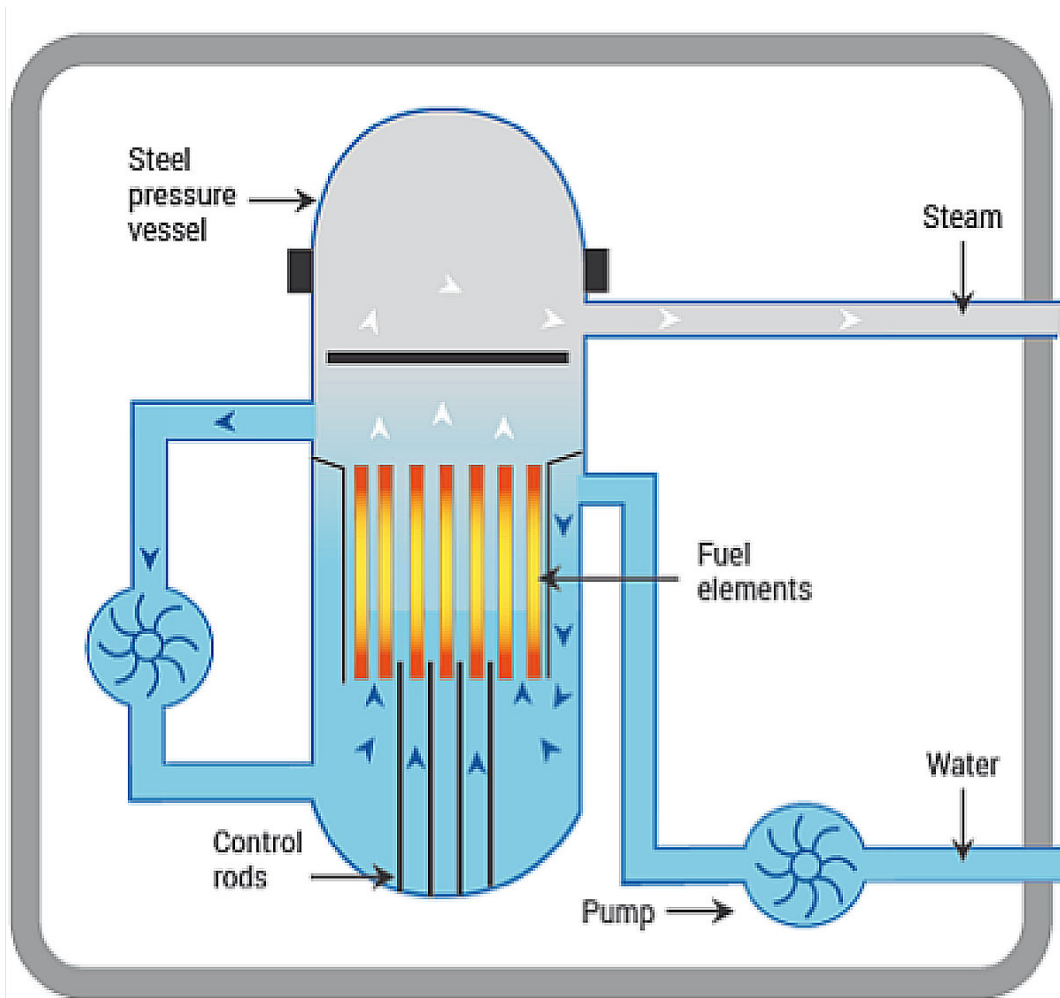


Figura 2: Esquema de Reactor de Agua Hirviendo Tomada de: WNA (julio, 2021).

hierva en los intercambiadores de calor que son, por tanto, generadores de vapor. El vapor impulsa la turbina para producir electricidad y luego se condensa y regresa a los intercambiadores de calor en contacto con el circuito primario.

El reactor de agua en ebullición (Boiling Water Reactor, BWR, por su siglas en inglés) el vapor se produce directamente en el interior de la vasija del reactor.

Este tipo de reactor tiene muchas similitudes con el PWR, excepto que solo hay un circuito único en el que el agua está a menor presión (aproximadamente 75 veces la presión atmosférica) de modo que hierva en el núcleo a aproximadamente 285 ° C. El reactor está diseñado para operar con un 12-15% del agua en la parte superior del núcleo como vapor y, por lo tanto, con un efecto moderador menor y, por lo tanto, una eficiencia allí. Las unidades BWR pueden operar en modo de seguimiento de carga más fácilmente que los PWR. El vapor pasa a través de placas secantes (separadores de vapor) por encima del núcleo y luego directamente a las turbinas, que por tanto forman parte del circuito del reactor. Dado que el agua alrededor del núcleo de un reactor siempre está contaminada con trazas de radionúclidos, significa que la turbina debe estar blindada y debe proporcionarse protección radiológica durante el mantenimiento.

El costo de esto tiende a equilibrar los ahorros debido al diseño más simple. La mayor parte de la radiactividad en el agua es de muy corta duración \*, por lo que se puede ingresar a la sala de turbinas poco después de que se apaga el reactor. Un conjunto de combustible BWR comprende de 90 a 100 barras de combustible, y hay hasta 750 conjuntos en el núcleo de un reactor, con capacidad para 140 toneladas de uranio. El sistema de control secundario implica restringir el flujo de agua a través del núcleo para que más vapor en la parte superior reduzca la moderación. Este sistema tipo de reactor es con el que opera la Central nuclear de Laguna Verde.

**Energía nuclear en el mundo**

Alrededor del 10% de la electricidad mundial es generada por unos 445 reactores de energía nuclear. Se están construyendo unos 50 reactores más, lo que equivale aproximadamente al 15% de la capacidad existente. En 2020, las

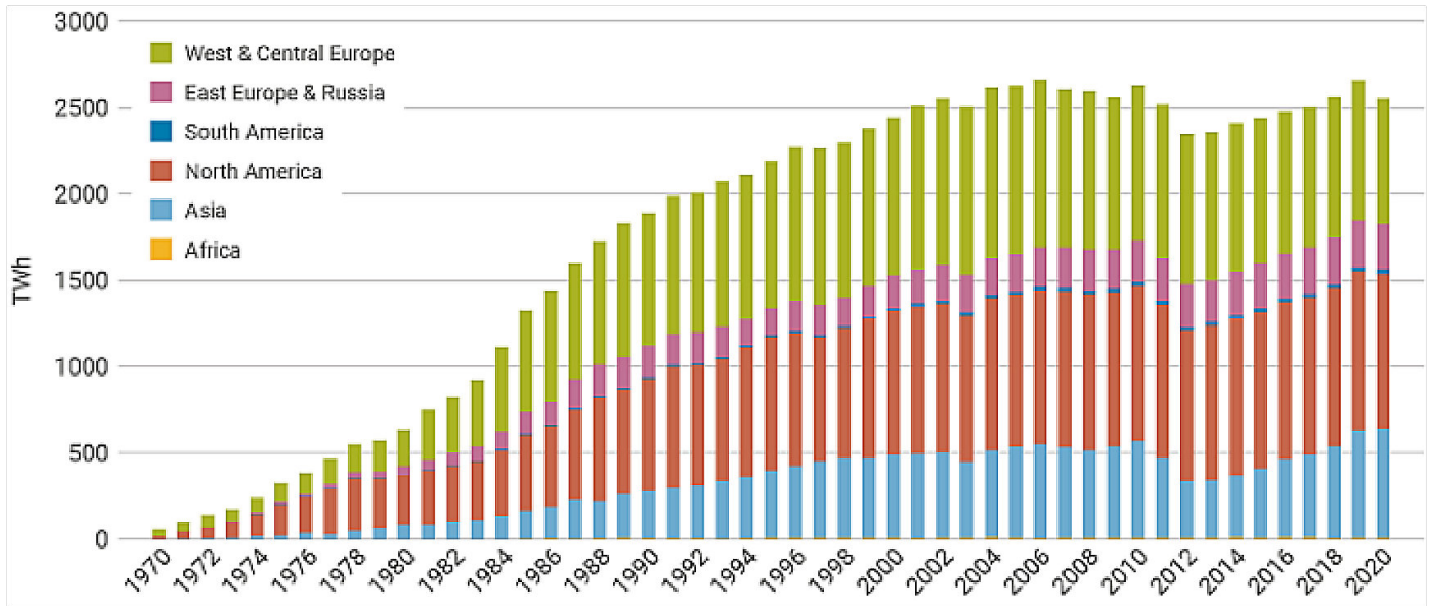


Figura 3: Número de reactores operando en todo el mundo Tomado de: WNA (october, 2021).

plantas nucleares suministraron 2553 TWh de electricidad, frente a 2657 TWh en 2019. Antes de 2020, la generación de electricidad a partir de energía nuclear había aumentado durante siete años consecutivos.

Trece países en 2020 produjeron al menos una cuarta parte de su electricidad a partir de energía nuclear. Francia obtiene alrededor de las tres cuartas partes de su electricidad de la energía nuclear, Eslovaquia y Ucrania obtienen más de la mitad de la energía nuclear, mientras que Hungría, Bélgica, Eslovenia, Bulgaria, Finlandia y la República Checa obtienen un tercio o más. Corea del Sur normalmente obtiene más del 30% de su electricidad de la energía nuclear, mientras que en los EE. UU., Reino Unido, España, Rumania y Rusia aproximadamente una quinta parte de la electricidad proviene de la energía

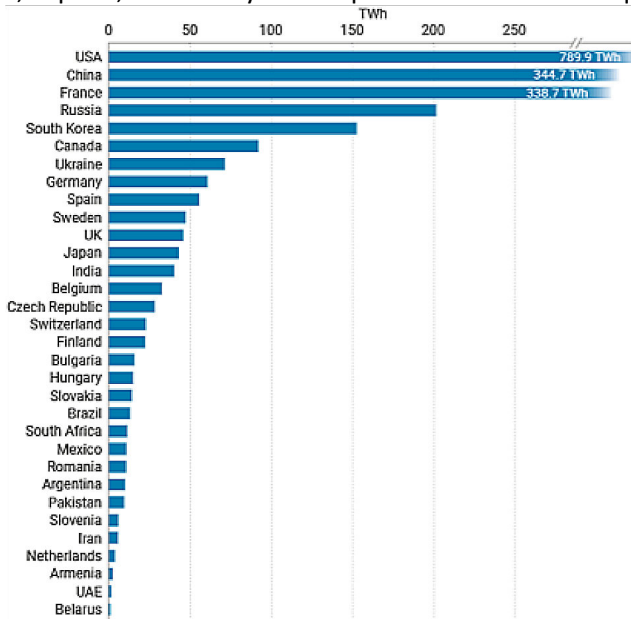


Figura 4: Producción mundial de electricidad en 2018 Tomado de: WNA (october, 2021).

nuclear. Japón estaba acostumbrado a depender de la energía nuclear para más de una cuarta parte de su electricidad y se espera que regrese a algún lugar cercano a ese nivel.

### Energía nuclear en México

El interés de México por la energía nuclear se remonta a principios de la década de 1960. Los primeros pasos se dieron en 1966, cuando se llevó a cabo una investigación preliminar de posibles emplazamientos para centrales nucleares bajo los auspicios de la CFE (Comisión Federal de Electricidad) y la CNEN (Comisión Nacional de Energía Nuclear). Al final de la década, el gobierno llegó a la conclusión de que las centrales nucleares podrían desempeñar un papel importante en la combinación energética más amplia. A principios de 1969, CFE decidió convocar a licitación para una central nuclear de 600 MW (e) de tipo probado y se enviaron invitaciones a licitar a varios fabricantes. Las ofertas se recibieron a principios de 1970, pero la decisión final, con las ofertas actualizadas, se tomó a mediados de 1972. En 1976 se inició la construcción del LVNPP (Laguna Verde Nuclear Power Station), compuesto por dos reactores de 654 MW (e) netos cada uno. La primera unidad entró en operación comercial en julio de 1990 y la segunda en abril de 1995.

Los reactores LVNPP tenían una capacidad bruta original de 654 MW (e) por unidad, pero en 2010 se actualizaron a 805 para la Unidad 1 y 803 MW (e) para la Unidad 2.

En 2020, LVNPP generó 10864.272 GW (h), equivalente al 4.94% de la generación total en el país, el factor de capacidad unitaria fue 83.52 (85.66 para la Unidad 1 y 81.38 para la Unidad 2). Con la operación del LVNPP, México evitó la emisión de 3.94 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 2020.

Como se mencionó anteriormente, solo hay una planta nuclear en operación en México, con dos reactores de agua en ebullición (BWR). Todavía hay un plan para agregar tres unidades de energía hacia 2029-2031, si se alcanzan los medios económicos. PRODESEN (Programa para el Desarrollo del Sistema Energetico Nacional) demuestra que el 40% de la capacidad adicional que se instalará hasta el 2029 consistirá en tecnologías limpias, aportando 32.552 MW. Se prevé que hasta un 12% podría consistir en generación nuclear.

A través de un nuevo modelo energético, la Secretaría de Energía (SENER) lidera y coordina la transición energética en el país de manera gradual y sistemática para alcanzar el 35% de generación con Energía Limpia en 2024. Si bien México tiene un gran potencial de capacidad basada en energías renovables, actualmente no realiza ningún plan de acción en el desarrollo científico y tecnológico, para la promoción, transferencia, adaptación y asimilación de la tecnología nuclear, también lleva a cabo proyectos de investigación en respuesta a las necesidades del sector energético y provee de asistencia técnica para las instalaciones nucleares. Es importante buscar un equilibrio entre la generación eléctrica, su conducción y otras operaciones que permitan confiabilidad, seguridad, continuidad y calidad en el sistema energético nacional, considerando las características intrínsecas de cada energía primaria.

### Bibliografía

Consejo de Seguridad Nacional (CSN). (s/n). La energía nuclear. octubre 4, 2021, de Consejo de Seguridad Nacional (CSN) Sitio web: <https://www.csn.es/documents/10182/927506/La+energ%C3%ADa+nuclear+%28Monograf%C3%ADa%29#:~:text=%C3%89sta%20energ%C3%ADa%20se%20puede%20obtener,formar%20un%20n%C3%BAcleo%20m%C3%A1s%20grande.&text=En%20la%20fisi%C3%B3n%20nuclear%2C%20los,n%C3%BAcleos%20m%C3%A1s%20peque%C3%B1os%2C%20liberando%20energ%C3%ADa>

Foro Nuclear. (s/n). ¿Qué es la energía nuclear?. octubre 4, 2021, de Foro Nuclear Sitio web: <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/que-es-la-energia-nuclear/>

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2021). Country Nuclear Power Profiles: Mexico. octubre 4, 2021, de International Atomic Energy Agency(IAEA) Sitio web: <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Mexico/Mexico.htm>

World Nuclear Association (WNA). (julio, 2021). Nuclear Power Reactors. octubre 4, 2021, de World Nuclear Association (WNA) Sitio web: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx>

World Nuclear Association (WNA). (enero, 2021). Nuclear Power in Mexico. octubre 4, 2021, de World Nuclear Association (WNA). Sitio web: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/mexico.aspx>

World Nuclear Association (WNA). (october, 2021). Nuclear Power in the World Today. octubre 4, 2021, de World Nuclear



Piedra de Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA